В. М. Балыбин, В. С. Лунев,
Д. Ю. Муромцев, Л. П. Орлова

ПРИНЯТИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Издательство ТГТУ

Министерство образования Российской Федерации

Тамбовский государственный технический университет

В. М. Балыбин, В. С. Лунев,
Д. Ю. Муромцев, Л. П. Орлова

ПРИНЯТИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Часть 1

Утверждено Ученым советом университета
в качестве учебного пособия

Тамбов
Издательство ТГТУ
2003

УДК 658.512.011.56.001.57:681.5
ББК 32.965-02-5-05
А22

Рецензент
Доктор технических наук, профессор ТГУ
В. М. Тютюнник

Балыбин В. М., Лунев В. С., Муромцев Д. Ю., Орлова Л. П.
А22 Принятие проектных решений. Учебное пособие Ч. 1 / Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 80 с.
ISBN 5-8265-0236-3

Пособие посвящено принятию решений в информационных системах управления техническими проектами. Основное внимание уделяется разработке математического и алгоритмического обеспечения информационных технологий поддержки принятия обоснованных решений. В первой части с системных позиций рассматривается процедуры принятия решений применительно к наиболее рас-

пространенным методам. Изложение материала сопровождается численными примерами и рекомендациями по использованию программных средств.

Пособие предназначено для студентов специальности 200800 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», при изучении теоретических курсов, выполнении лабораторного практикума, курсовых и дипломных работ с применением компьютерных технологий поддержки принятия проектных решений, а также других инженерных специальностей по автоматизации конструкторско-технологического проектирования и экспертным системам. Может быть использовано инженерами, аспирантами и преподавателями при проведении научных исследований.

УДК 658.512.011.56.001.57:681.5
ББК 32.965-02-5-05

ISBN 5-8265-0236-3

Учебное издание

Балыбин Валентин Матвеевич,
Лунев Виктор Серафимович,
Муромцев Дмитрий Юрьевич,
Орлова Лариса Павловна

ПРИНЯТИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Часть 1

Учебное пособие

Редактор В. Н. Митрофанова
Компьютерное макетирование Е. В. Кораблевой

Подписано к печати 09.04.2003
Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная
Объем: 4,65 усл. печ. л.; 4,60 уч. изд. л.
Тираж 100 экз. С. 244

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Принятие решений является важнейшим компонентом систем управления проектами (УП), когда необходимо решать задачи планирования, проектирования, производства, распределения и регулирования ресурсов (трудовых, материальных, оборудования) с учетом всех ограничений (технических, бюджетных, временных). Руководители проектов редко добиваются успехов, если не владеют или не используют методы принятия обоснованных решений.

В настоящее время имеется большое число публикаций как по управлению проектами, так и принятию решений (ПР). Особенностью настоящего учебного пособия является то, что авторы старались увязать наиболее распространенные методы ПР с фазами жизненного цикла проекта. Это нашло свое отражение в структуре изложения материала и примерах решаемых задач.

Понятие проекта в пособии рассматривается в самом общем смысле, это может быть и масштабная программа, и мультипроект, и частная техническая задача. Каждый проект несет в себе целенаправленные изменения той системы, в которой он осуществляется.

Пособие предназначено для студентов технических вузов, в основном при выполнении курсовых и дипломных проектов, связанных с разработкой новых продуктов, услуг, научно-исследовательских работ, проведению мероприятий по реинжинирингу.

Рассматриваемые в пособии методы ПР помимо применения в системах управления проектами широко используются в математическом обеспечении систем управления рисками, ситуационных центрах системах класса ERP, MRPII и система – широко применяемых в условиях рыночной экономики. Основная особенность последней это усиливающая нестабильность внешней среды, в том числе:

–события становятся все более непривычными и неузнаваемыми;

–повышаются темпы изменений, которые значительно превосходят скорость ответной реакции предприятий;

–возрастает частоты появления неожиданных событий, внезапных изменений, их непредсказуемость.

В этих условиях невозможно осуществлять управление предприятиями путем реакции на возникшие проблемы на основе предшествующего опыта или его экстраполяции. Для своевременной и эффективной ответной реакции необходимы: предвидение, исследования (системный анализ) и творчество (интеллект). Методы решения этих задач требуют, использование специфических моделей принятия и реализации стратегических решений. Наибольшее применение находят модели: стратегического планирования, выбора стратегических позиций в конкуренции, управления на основе решения стратегических задач, управления по слабым сигналам.

Важными особенностями проектируемых технических систем являются: расширение их функциональных возможностей, усложнение структуры, применение новых методов обработки сигналов, конструкций устройств, использование компьютерных технологий в системах управления, рост числа объектов информационного взаимодействия, необходимость адаптации к быстроменяющейся обстановке, переход к сложным и групповым алгоритмам управления.

На всех этапах проектирования задачи анализа и синтеза решаются как оптимизационные. Однако решение таких задач, как синтез оптимальной структуры системы, выбор метода обработки сигналов, параметрической оптимизации встречает серьезные трудности, обусловленные следующими обстоятельствами:

–отсутствие достоверных данных, для построения математических моделей, необходимых при решении задач оптимизации;

–высокая стоимость и длительные сроки проведения экспериментальных исследований для получения достоверных данных;

–субъективизм в выборе критериев, весовых коэффициентов, оценки стоимостных затрат и т.д.;

–высокая размерность решаемых задач;

–ведение проекта значительным числом групп специалистов разного профиля.

В последнем случае возникают проблемы конструирования всей системы из готовых «черных ящиков», синтеза по техническим характеристикам подсистем системы с требуемыми показателями качества. В этих условиях для принятия проектных решений возрастает роль качественных методов - экспертных оценок и «Дельфи», а также методов принятия решений в условиях неопределенности, или частичной неопределенности, т.е. это методы теории игр, Сэвиджа, Байеса-Лапласа и др.

Принятие решений – наиболее ответственная и интеллектуальная сфера деятельности человека и, в первую очередь, руководителя любого ранга. Число публикаций, посвященных данной проблеме непрерывно растет и к настоящему времени исчисляется сотнями тысяч.

Задачи выбора наилучших вариантов при проектировании систем в условиях ограниченного финансирования является одной из наиболее типичных для использования методов принятия решений. В первой части пособия в основном рассматриваются алгоритмы и процедуры принятия решений применительно к такого рода задачам.

Вторая часть пособия посвящена описанию существующих информационных систем поддержки принятия решений и управления проектами.

Система стратегий каждого предприятия отличается от типичной, так как она объективно определяется своеобразием воздействия внешней среды на предприятие, его потенциалом, а субъективно представляет собой результат творчества высшего руководства и привлекаемых специалистов. Типичные стратегии (разработанные на основе зарубежного опыта) играют обучающую роль. Различают стратегические, тактические и оперативные стратегии. Цикл стратегического управления имеет долгосрочный период и включает в себя несколько циклов тактические (среднесрочного) управления, а последние – несколько циклов оперативного (краткосрочного) управления. Для разного уровня управления характерны свои методы принятия решения.

1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Проект – это последовательность взаимосвязанных операций, направленных на достижение конкретного значительного результата, и для их выполнения требуется продолжительное время и ресурсы (трудовые, материальные, оборудование) [1].

Программа представляет собой долгосрочную деятельность и подразумевает выполнение более чем одного проекта; иногда используется как синоним слова «проект».

В отличие от проектов и программ задача (частное техническое задание) является краткосрочным действием (рассчитанным на период от нескольких недель до нескольких месяцев), выполняемым одной организацией; из комбинации задач может складываться проект.

Проект в своем естественном развитии проходит ряд отдельных фаз, образующих жизненный цикл проекта – формирование концепции, планирование, проектирование, изготовление, ввод в эксплуатацию (инсталляция) и завершение. Общую цель осуществления проекта, причину его необходимости называют миссией (предназначением) проекта [1, 2].

Основными характеристиками проектов являются:

- имеют определенные цели;
- выполняются людьми;
- требуют для выполнения ресурсы, количество которых ограничено;
- подлежат управлению, т.е. планируются, контролируются и регулируются.

Многим проектам, связанным с разработкой новых электронных средств, присущи:

- уникальность;
- наличие неопределенности;
- сложность решаемых задач;
- новизна;
- неповторяемость, представляют собой временное единичное мероприятие.

Наиболее часто студентам специальности 200800 приходится участвовать в выполнении следующих типов проектов.

Проекты по созданию нового продукта, в том числе программного, или по разработке новой услуги. На фазе жизненного цикла этого типа проектов выполняются следующие работы [1].

1 *Концепция*: определение возможностей или потребностей, краткое технико-экономическое обоснование.

2 *Определение* (*планирование*): подготовка предложения по новому продукту, план создания продукта, лист согласования, определение научно-исследовательских работ, запрос на ассигнования.

3 *Проектирование*: проектирование продукта или услуги; создание и испытание прототипа.

4 *Разработка и производство*: создание прототипа серийного образца, а также создание производственного и тестового инструментария; изготовление первых серийных образцов.

5 *Внедрение, установка*: распространение и продажа продукта; оценка производительности.

6 *Завершение проекта*: создание концепций новых проектов для совершенствования продукта; итоговый отчет для сравнения полученных результатов с планом создания продукта, запросом на ассигнования и т.д.

Международный опыт показывает, что от 20 до 90 % всех проектов улучшения продукта терпят провал по причине ошибочного мнения о состоянии рынка, на базе которого принимаются решения о стратегии бизнеса компании.

Научно-исследовательские проекты по развитию производства, в том числе реинжинирингу бизнес-процессов.

1 *Концепция*: определение возможностей или бизнес-потребностей; технико-экономическое обоснование.

2 *Определение* (*планирование*): планирование пакета научно-исследовательских работ.

3 Проектирование: проведение исследований, аналитических и проектных работ.

4 *Разработка/производство*: проведение пилотных испытаний, анализ и документирование результатов.

5 *Внедрение/установка*: проведение полномасштабных испытаний, анализ и документирование результатов.

6 *По завершении*: Итоговый отчет.

Проекты по созданию информационных систем. Обычно такие проекты относят к категории мультипроектов или программ.

1 *Концепция*: определение возможностей или бизнес-потребностей; краткое технико-экономическое обоснование.

2 *Определение* (*планирование*): анализ инвестиций, подготовка бюджета, запрос на ассигнования.

3 *Анализ* системы и детальное проектирование.

4 *Разработка/производство*: кодирование: компиляция, отладка и документирование системы.

5 *Внедрение/установка*: установка и тестирование системы в производственных условиях.

6 *По завершении*: итоговый отчет для сравнения полученных результатов с запросом на ассигнования проекта.

Понимание терминов: программа, проект, задача, необходимо для достижения надежного управления программами и проектами.

Под управлением проектами понимается выполнение некоторого комплекса действий по планированию, распределению и регулированию трудовых и материальных ресурсов, оборудования с учетом всех ограничений данного проекта (технических, бюджетных и временных).

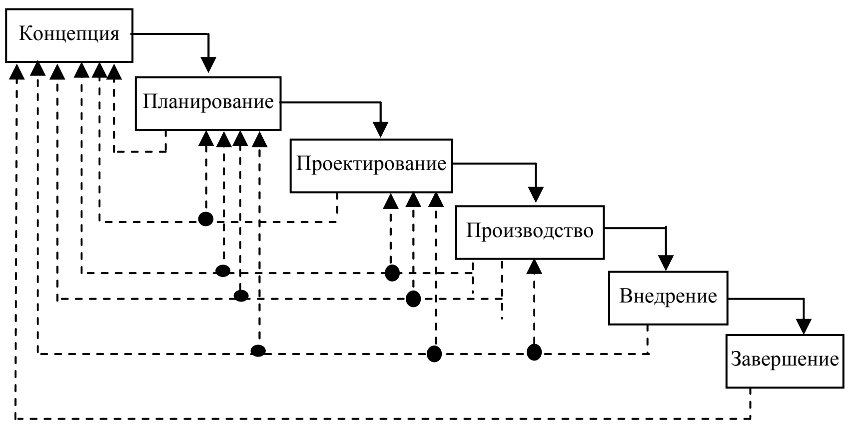
Управление проектами включает:

–определение центров ответственности за проект в целом (реализация принципа – главное не «что», а «кто»);

–создание системы комплексного и прогнозирующего планирования и контроля;

–формирование команды проекта и управление ею с целью объединения и координации усилий всех исполнителей, задействованных в проекте [3].

При создании новых радиоэлектронных средств и программных продуктов наибольшее распространение получили два вида моделей выполнения проектов – каскадная («водопад») и спиральная (рис. 1). Для каскадной модели пунктиром показаны обратные связи, т.е. коррекции по результатам принятия решения после окончания очередного этапа [4].



а)

б)

Рис. 1   Модели выполнения проектов по разработке нового продукта:
каскадная (*а*) и спиральная (*б*)

Спиральная модель предполагает итерационный процесс выполнения проекта. Каждая итерация представляет собой законченный цикл разработки, приводящий к выпуску внутренней или внешний версии продукта.

Принятие решений – наиболее ответственная и интеллектуальная сфера деятельности человека при управлении проектами.

Опыт использования информационных технологий и систем показывает, что эффективность функционирования предприятия зависит не только от уровня автоматизации бизнес-процессов, не меньшую роль здесь играют целенаправленность, аналитичность и обоснованность принимаемых руководителями решений.

Для обслуживания верхнего уровня руководства предприятия в рамках корпоративной информационной системы (ИС) создаются система поддержки (подготовки) принятия решения (СППР) и автоматизированные рабочие места (АРМ) руководителей. СППР использует полный набор технических, программных средств и информационных ресурсов, накапливаемых в ИС, и ориентирована на аналитическую и прогнозную работу руководителей в режиме реального времени. Математическое обеспечение СППР использует широкий арсенал методов инжиниринга, реинжиниринга, контроллинга, искусственного интеллекта (экспертные системы, нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети), исследования операций и др. [5].

Задачи выбора наилучших вариантов при проектировании в условиях ограниченности финансирования и других ресурсов являются одними из наиболее типичных для использования методов принятия решений. Особенностями задач такого рода являются следующие:

1) цена ошибки от неправильного принятого решения часто очень высока, она может быть связана с большими материальными затратами;

2) многие задачи носят уникальный характер и для их решения отсутствуют математические модели;

3) выбираемые решения должны учитывать множество ограничений и частных показателей, т.е. задачи являются сложными в математическом отношении;

4) для решения большинства задач отсутствуют достоверные данные, т.е. приходится принимать решение в условиях неопределенности;

5) большинство задач требуют оперативного решения;

6) для решения многих задач необходим обширный справочный материал (базы данных);

7) во многих случаях для принятия правильного решения предварительно могут быть использованы только квалификация, опыт и интуиция специалиста (эксперта).

Успех решения этих задач во многом зависит от того, насколько четко и правильно они сформулированы, какой (или какие) выбран метод для их решения и насколько грамотно интерпретируются результаты решения.

2 КЛАССИФИКАЦИЯ И ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Встречающиеся на практике задачи проектирования, требующие применения методов принятия решений, исключительно разнообразны. Большинство задач связаны с выбором одного или нескольких альтернативных вариантов с учетом возможных ситуаций, для их решения редко применяются методы математического программирования вследствие отсутствия или недостоверности исходных данных.

Существуют различные признаки классификации задач принятия решений. По степени или условиям, в которых принимаются решения, различают следующие виды задач [6].

1 Принятие решений в условиях полной неопределенности, когда роль исходных данных играют интуиция и опыт экспертов.

2 Принятие решений в условиях неопределенности, в данном случае известны отдельные характеристики альтернативных вариантов в различных ситуациях, но сведения о вероятностях ситуаций отсутствуют. При этом изменение ситуаций может носить нейтральный характер (игра с природой) или противодействующий конфликтный характер.

3 Принятие решений в условиях частичной неопределенности или риска, когда известны вероятности возможных ситуаций для реализации вариантов.

4 Принятие решений в условиях определенности, в данном случае вся необходимая информация точно известна.

В зависимости от важности принимаемых решений для деятельности предприятия, тяжести последствий от ошибочных решений выделяют три группы решений [7].

1 Стратегические решения, относящиеся к долгосрочным проектам и принимаемые руководством верхнего уровня.

2 Тактические решения по среднесрочным проектам, они обычно принимаются руководителями среднего уровня.

3 Оперативные решения по краткосрочным проектным задачам. Эти решения могут относиться к различным этапам выполнения проекта и принимаются руководителями разного уровня.

При формализации постановок задач принятия решений будут использованы следующие понятия и обозначения.

Определение 1. Пусть задано множество вариантов (проектов)

$$\mathcal{V} = \{\upsilon_1,\ \upsilon_2,\ \ldots,\ \upsilon_n\} \tag{1}$$

и сформулирован критерий Q, на основе которого надо принять решение о наилучшем варианте $\upsilon^* \in \mathrm{V}$. Данную задачу будем назы$\mathcal{V}$ать задачей выбора оптимального варианта (ВОВ). Если из множества (1) необходимо по критерию Q отобрать подмножество вариантов $\mathcal{V}_{\text{o}} \subset \mathcal{V}$ таких, что каждый вариант $\upsilon_j^{\text{o}} \in \mathcal{V}_{\text{o}}$ предпочтительнее вариантов $\upsilon_j^{\text{o}} \in \mathcal{V}_{\text{o}}$, то данную задачу назовем задачей выбора предпочтительных вариантов (ВПВ).

Задачи ВОВ и ВПВ формализированно можно записать в виде

$$\upsilon^* = \arg \underset{\upsilon}{\text{opt}} \{Q(\upsilon),\ \upsilon \in \mathcal{V}\}, \tag{2}$$

$$\forall \upsilon_j^{\text{o}} \in \mathcal{V}_{\text{o}};\ \forall \upsilon_{\text{v}} \in \mathcal{V} \setminus \mathcal{V}_{\text{o}}:\ \ \upsilon_j^{\text{o}} \underset{Q}{\succ} \upsilon_{\text{v}}, \tag{3}$$

здесь $\underset{Q}{\succ}$ – знак предпочтения по критерию Q.

Задачи ВОВ и ВПВ делятся на классы, различающиеся полнотой сведений, необходимых для решения.

Определение 2. По степени определенности и полноты исходных данных задачи ВОВ и ВПВ делятся на три класса:

–к первому классу относятся задачи, для которых задаются лишь перечень вариантов n и критерий в виде словесной формулировки целевой функции (Ц), это задачи принятия решений в условиях «полной» неопределенности или задачи качественного характера;

–второй класс задач характеризуется заданием количественных данных (часто приближенных) о значениях критерия в различных ситуациях, возможно вероятностях этих ситуаций и т.п., это задачи принятия решений в условиях «частичной» неопределенности (или просто неопределенности);

–для задач третьего класса задаются математические модели, позволяющие рассчитывать значения критерия и другие характеристики, необходимые для принятия решения, это класс задач математического программирования (условия полной определенности).

Задачи принятия проектных решений наиболее часто относятся к первому и второму классам.

Задачи первого класса обычно возникают, когда решение необходимо принять оперативно и в достаточно новой области, для сбора экспериментальных (статистических) данных и разработки математической модели нет времени (или средств). Для решения задач этого класса широкое распространение получили методы экспертных оценок и другие родственные им методы [8-10].

Для задач второго класса, т.е. в условиях неопределенности, известно большое число методов, как классических с хорошо разработанной теорией, так и эвристических, например, методы теории игр, Байеса-Лапласа и др.

При реализации вариантов $\upsilon \in \mathcal{V}$ могут возникнуть различные ситуации s, множество этих ситуаций (их число k) обозначим

$$S = \{s_1,\ s_2, \ldots,\ s_k\}. \tag{4}$$

Например, для технических проектов, подаваемых на конкурс, такими ситуациями могут быть следующие:

–несоответствие технических характеристик изделий, получаемым на практике и ожидаемым по проекту;

–уменьшение потребительского спроса;

–увеличение себестоимости по сравнению с запланированной и т.д.

На момент решения задач (2) или (3) неизвестно, какая из ситуаций $s \in S$ будет иметь место в действительности.

Значения критерия Q для различных ситуаций будут различными, т.е. для двух вариантов υ_i и υ_j надо сопоставлять $\{Q(\upsilon_i; s),\ s \in S\}$ и $\{Q(\upsilon_j; s), s \in S\}$.

Определение 3. Если множество ситуаций S применительно к задачам (2), (3) четко определено для всех вариантов, то задачи будем соответственно называть задачами ВОВ и ВПВ в условиях неопределенности, обусловленной возможными ситуациями S, или сокращенно ВОВ на S и ВПВ на S.

Математически данные задачи записываются следующим обра-зом [9]:

$$\upsilon^* = \arg \operatorname*{opt}_{\upsilon} \{Q(\upsilon, \mathcal{S}), \upsilon \in \mathcal{V}\}, \tag{5}$$

$$\forall \upsilon_j^o \in \mathcal{V}_0,\ \forall \upsilon_\upsilon \in \mathcal{V} \setminus \mathcal{V}_0 :\ \ \nu_j^o \underset{Q(\mathrm{v},\mathrm{S})}{\succ} \upsilon_\upsilon, \tag{6}$$

где $Q(\upsilon, S)$ – значение критерия Q для варианта υ с учетом возможных ситуаций $s \in S$.

Определение 4. Если в задачах (5), (6) известны вероятности ситуаций $p(s), s \in S$, то они соответственно называются задачами ВОВ и ВПВ, на множестве вероятных ситуаций или сокращенно ВОВ на $P(S)$ и ВПВ на $P(S)$, здесь

$$P(S) = \{p(s), s \in S\}. \tag{7}$$

Большое значение на выбор метода решения задач ВОВ и ВПВ играет характер критерия Q. Можно выделить четыре основных случая задания критерия:

1) критерий Q представляет собой скалярную величину, которую обозначим q, например это может быть один из показателей эффективности;

2) критерий представляет собой векторную величину с m компонентами, т.е.

$$Q = (q_1, q_2, \ldots, q_m), \tag{8}$$

следует заметить, что в общем случае, критерий Q для разных проектов может содержать разные компоненты;

3) вместо количественного показателя в качестве критерия рассматривается словесно сформулированная цель, на основе которой принимается решение, такое словесное описание критерия обозначим Ц;

4) в качестве критерия задаются статистические данные, характеризующие эффективности вариантов, обозначим эти данные для варианта υ_i массивом

$$X(\upsilon_i) = (x_{i1}, x_{i2}, \ldots, x_{iN}),\ \ \upsilon_i \in \mathcal{V}. \tag{9}$$

Принятие решения применительно к любой из приведенных задач является заключительным этапом следующего процесса:

1) возникновение и конкретизация проблемы;

2) идентификация модели задачи;

3) формирование множества вариантов, выбор критерия, введение возможных ситуаций;

4) математическая постановка задачи;

5) наполнение задачи конкретными числовыми данными;

6) выбор метода решения;

7) численное решение задачи и анализ полученных результатов;

8) принятие решения по проблеме.

Наиболее эффективно использование компьютерных технологий на этапах 2, 5, 6, 7.

Укрупненная схема многостадийного процесса принятия решения представлена на рис. 2.

В принятии оптимальных решений (выборе оптимального варианта) обычно принимают участие три группы лиц, различающихся по их роли в процессе решения проблемы.

1 Лицо, принимающее решение – (ЛПР), или группа ЛПР. Это лицо формулирует цель (критерий оптимальности), ограничения, окончательно устанавливает вариант для реализации (принимает итоговое решение).

2 Группа экспертов, специалистов по конкретной проблеме (совет). Они определяют альтернативные варианты, критерии, выявляют относительную важность, значимость альтернатив, ранжируют или сравнивают варианты и т.д.

3 Группа консультантов по математическим методам теории принятия решений или рабочая группа (РГ). Они организуют работу экспертов и ЛПР, разрабатывают процедуру работы, обрабатывают и анализируют информацию от экспертов.

В зависимости от сложившихся условий задачи ВОВ и ВПВ могут решаться экспертной комиссией (ЭК) и затем ЛПР, или только ЭК, или только ЛПР.

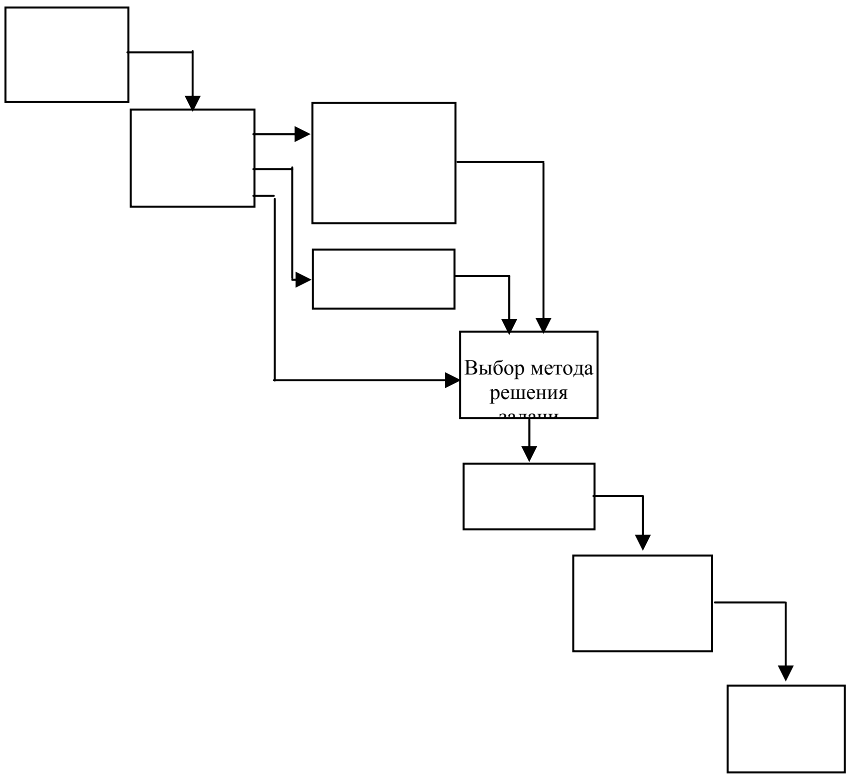


Рис. 2 Обобщенная модель процесса принятия решения

При создании компьютерной технологии и особенно распределенных систем поддержка принятия решений важно разработать обобщенную модель задачи принятия решения, которая должна отражать все ее характерные особенности, влияющие на выбор метода решения.

Определение 5. Под моделью задачи принятия решения применительно к выбору вариантов будем понимать кортеж

$$K = < W, F, N, U > \quad (10)$$

со следующими компонентами: W – определяет вид задачи по числу выделяемых вариантов – ВОВ или ВПВ, в кортеже на первом месте может быть υ^* или $\mathcal{V}_\text{о}$; F – функционал – определяет характер задания критерия, на втором месте может быть q или Q, или Ц, или X; N – вид неопределенности, связанной с возможными ситуациями, на третьем месте ставится S, если задается множество ситуаций или $P(S)$, если для ситуаций заданы вероятности, или 1, если ситуации не определены; U – участники принятия решения, т.е. на четвертом месте могут быть расположены ЭК + + ЛПР, или ЛПР, или ЭК.

Например, модель

$$< \upsilon^*, q, P(S), \text{ЛПР} > \quad (11)$$

определяет задачу ВОВ при скалярном критерии q с заданием возможных ситуаций и их вероятностей, решаемую ЛПР.

Число возможных задач определяется мощностью множества K, т.е. декартова произведения множеств

$$\mathcal{K} = \mathcal{W} \times \mathcal{F} \times \mathcal{N} \times \mathcal{U}, \quad (12)$$

здесь
$\mathcal{W} = \left\{\upsilon^*; \mathcal{V}_\text{о}\right\}$, $\mathcal{F} = \{q, Q, \text{Ц}, X\}$;

$\mathcal{U}$ $\quad$ $\mathcal{N} = \{S, P(S), 1\}$, $U = \{\text{ЭК} + \text{ЛПР}; \text{ЛПР}, \text{ЭК}\}$.

Исходные данные задачи $K \in \mathcal{K}$ представляют собой массив реквизитов вида

$$R = \left(n, (n_\text{о}), extr, M_q, (M_Q, M_x), n_s, (W_p), U\right), \quad (13)$$

здесь $n_\text{о}$ – число предпочтительных вариантов (мощность $\mathcal{V}_\text{о}$); extr – характер задачи на минимум или максимум; $M_q(M_Q)$ – матрицы значений критериев; M_x – массивы статистических данных; n_s – число ситуаций; (W_p) – вектор вероятностей ситуаций; U – кто принимает решение (ЛПР, ЭК, ЭК + ЛПР). В круглые скобки в (13) заключены компоненты R, которые для некоторых задач не требуются.

Например, применительно к задаче (11) массив R может иметь следующие значения:

$$R = \left(\begin{array}{cccccc} n & \text{extr} & M_q & n_S & W_p & U \\ 3; & \max; & \begin{bmatrix} 10 & 12 & 8 & 3 \\ 11 & 10 & 7 & 4 \\ 8 & 9 & 10 & 5 \end{bmatrix}; & 4; & (0{,}6; 0{,}2; 0{,}1; 0{,}1); & \text{ЛПР} \end{array} \right).$$

Следует заметить, что в некоторых случаях матрица $M_q(M_Q)$ и вектор W_p могут задаваться интервальными значениями.

Рассмотренная модель задачи (10) и массив реквизитов (13) позволяют перейти к созданию компьютерных технологий, обеспечивающих оперативное решение задач принятия проектных решений.

Вместе с тем модель (10) не следует рассматривать как окончательную. Она позволяет вводить новые элементы с целью учета ряда частных особенностей задач. К таким особенностям могут быть отнесены:

1) число альтернативных вариантов n к началу решения задачи может быть неизвестно и множество $\mathcal{V}_0$ формируется в ходе решения задачи, это обстоятельство нетрудно учесть расширением множества $\mathcal{W}$;

2) во многих случаях вследствие недостоверности исходных данных значения M_q, P_s и другие задаются интервалами, это можно учесть дополнительной символикой в $\mathcal{F}$ и $\mathcal{N}$;

3) решение задачи выбора оптимального варианта может быть совмещено с проверкой на выполнение некоторых ограничений, в том числе при различных условиях эксплуатации, т.е. сначала требуется определить допустимые варианты.

В общем случае множество $\mathcal{V}_0$ наряду с вариантами проектных решений может включать варианты организационного характера: собрать дополнительную информацию, выполнить макетирование, моделирование и т.п.

Большое значение для принятия обоснованного решения имеет выбор метода, который наиболее соответствует рассматриваемой задаче. В ряде случаев целесообразно решать задачу различными методами и по их результатам принимать окончательные решения.

3 МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЛНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Понятие «полной неопределенности» достаточно условно, более точным является высокая степень неопределенности. Такая неопределенность характерна для фазы формирования концепции проекта, когда исходных данных для принятия обоснованного решения недостаточно, имеющиеся сведения недостоверны, возможные риски достаточно не исследованы, на результаты могут влиять действия конкурентов и т.д.

Аналогичная неопределенность может иметь место при сравнении инвестиционных проектов в случае четко не сформулированных критериев сопоставления вариантов (текущая стоимость, период окупаемости, внутренняя ставка доходности, прогнозируемая прибыль и т.д.).

Вместе с тем для этих случаев характерна большая ответственность и важность принимаемого решения с точки зрения возможного ущерба, если в дальнейшем результаты проекта не будут достигнуты; эту особенность иногда называют правилом 10-кратных затрат, т.е. затраты на исправление ошибки при переходе от одного этапа жизненного цикла (ЖЦ) проекта к последующему увеличиваются на порядок.

Широкое распространение при решении задач ВОВ и ВПВ в условиях полной неопределенности получили методы экспертных оценок, в частности с использованием ранжирования вариантов или парных сравнений. Существенную роль в применении этих методов играет вид критерия сравнения альтернативных вариантов. Здесь возможны два случая: 1) критерий задается в форме словесной формулировки цели проекта или в виде скалярной величины; этот случай будем называть принятием решения при скалярном критерии; 2) критерий сравнения вариантов представляет собой векторную величину.

Методы экспертных оценок и другие родственные им методы объединяет то, что основой для решений экспертов в большей степени служит качественная информация. Вместе с тем для обработки мнений экспертом применяются такие математические методы как корреляционный анализ, проверка статистических гипотез, многокритериальная оптимизация и др.

3.1 Скалярный критерий, ранжирование вариантов

Методом ранжирования вариантов при скалярном критерии q, а также в случае словесной формулировке цели Ц оперативно решается широкий круг задач ВОВ и ВПВ в условиях полной неопределенности, в частности задачи с моделями (см. (10))

$$\langle \upsilon^*, q, 1, \text{ЭК} \rangle, \langle \upsilon^*, \text{Ц}, 1, \text{ЭК} \rangle, \langle \upsilon^*, X, 1, \text{ЭК} \rangle,$$

$$\mathcal{V}_{\text{o}} \qquad \mathcal{V}_{\text{o}}, \qquad \langle V_{\text{o}}, \mathcal{V}_{\text{o}},, \text{ЭК} \rangle, \langle V_{\text{o}}, \text{Ц}, 1, \text{ЭК} \rangle, \langle V_{\text{o}}, X, 1, \text{ЭК} \rangle,$$
$$\langle r, q, 1, \text{ЭК} \rangle, \langle r, \text{Ц}, 1, \text{ЭК} \rangle, \langle r, X, 1, \text{ЭК} \rangle.$$

Простейший метод экспертных оценок, основанный на ранжировании вариантов, заключается в следующем [9].

Пусть имеется группа из m экспертов $\{j = 1,...,m,\ m \geq 2\}$ и множество вариантов решения $\mathcal{V}_{\text{o}} = \{v(i),\ i = 1,...,n\}$. Сформулирована целевая функция принятия решения в виде критерия q или цели Ц. В результате сопоставления вариантов по критерию q на основе накопленного опыта и профессиональных знаний каждый эксперт определяет начальный вектор рангов вариантов, для j-го эксперта этот вектор $y(i)$ имеет вид

$$y(j) = (y(j,1),\ y(j,2),...,\ y(j,n)),$$

где $y(j,i)$ – ранг варианта $v(i)$ или v_i решения, присваиваемый j-м экспертом, при этом $y(j,h) < y(j,t)$, если вариант v_h предпочтительнее варианта v_t по критерию Q. Допускается $y(j,h) = y(j,t)$, $(h \neq t)$, а также отсутствие значений $y(j,i)$ (знак «–») для вариантов, которые j-й эксперт считает одинаково неперспективными.

Вектора $y(j),\ j = 1...m$ образуют $m \times n$ матрицу рангов

$$Y = \|y(j,i)\|_{m \times n},$$

причем

$$y(j,i) \in \{1; 2; \ldots; n; (-)\}.$$

Требуется по значениям компонентов матрицы Y определить:

–оптимальный вариант υ^* или сформировать подмножество предпочтительных вариантов $\mathcal{V}_{\text{o}}$, содержащее оптимальное решение;

–рейтинги вариантов;

–степень согласованности мнений экспертов (рассчитать коэффициент конкордации W и проверить его значимость).

Ранжированием совокупности (множества) вариантов $\mathcal{V}_{\text{o}} = \{v(i,j),\ \ i = 1,...,n\}$ называется нумерация вариантов $v(i)$ в соответствии с возрастанием (или убыванием) некоторого критерия q. Ранг $x(i)$ варианта $v(i)$ указывает место, которое занимает i-й вариант среди других вариантов, расположенных в соответствии с данным критерием. Ранжирование часто применяется, когда значения $q(v_i)$ для вариантов нельзя измерить или рассчитать. Окончательным результатом ранжирования n вариантов решения j-м экспертом является нормированная последовательность (вектор, ряд)

$$x(j) = (x(j,1),\ x(j,2),...,\ x(j,n)),$$

а h-м экспертом

$$x(h) = (x(h,1),\ x(h,2),...,\ x(h,n)).$$

Причем для суммы рангов $x(j,i)$ любого эксперта при правильном ранжировании должно выполняться условие нормировки

$$\sum_{i=1}^{n} x(j,i) = n(n+1)/2\,. \tag{14}$$

Степень связи между последовательностями рангов

$$x(j,1),\ x(j,2),...,x(j,n)$$

и

$$x(h,1),\ x(h,2),...,\ x(h,n)$$

оценивается с помощью коэффициентов ранговой корреляции K по Спирмену или по Кендаллу. Значения K принадлежат интервалу $[-1;\ 1]$. Если последовательности $x(j)$ и $x(h)$ равны, т.е. мнения экспертов j и h совпадают, то $K = 1$, если же ранжирование вариантов двумя экспертами полностью противоположно, то $K = -1$, и если ранги в последовательностях $x(j)$ и $x(h)$ независимы, то $K \to 0$.

Например: номера вариантов ($n = 5$): 1 2 3 4 5
ранги j-го эксперта ($x(j, i)$): 3 1 2 5 4
ранги h-го эксперта ($x(h, i)$): 2 3 1 4 5
причем в соответствии с (14)

$$\sum_{i=1}^{5} x(j,i) = \sum_{i=1}^{5} x(h,i) = 15\,.$$

Коэффициент ранговой корреляции по Спирмену K_{C} рассчитывается по формуле

$$K_{\text{C}} = 1 - \frac{6 \cdot \left[\sum_{i=1}^{n} ((j,i) - x(h,i))^2 \right]}{n(n^2 - 1)}\,. \tag{15}$$

Для нашего примера K_{C} равен

$$K_{\text{C}} = 1 - 6 \cdot \frac{1 + 2^2 + 1 + 1 + 1}{5\left(5^2 - 1\right)} = 0{,}6 \, .$$

Коэффициент конкордации W оценивает степень согласованности мнений m экспертов ($m > 2$) при ранжировании вариантов. Если все эксперты одинаково проранжировали варианты, т.е. их мнения полностью совпадают, то $W = 1$, если связи между рядами $x(j)$, $j = 1,\ldots,m$ нет, т.е. мнения экспертов сильно расходятся, то W близко к нулю. Таким образом, значения коэффициента W принадлежат интервалу $[0;1]$.

В случае, когда компетентность экспертов не учитывается, т.е. для всех экспертов веса одинаковы и равны 1, расчет коэффициента конкордации производится по формулам

$$W = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\sum_{j=1}^{m} x(j,i) - m(n+1)/2\right]^2}{\frac{1}{12} m^2 n\left(n^2 - 1\right) - m\sum_{j=1}^{m} T(j)}, \tag{16}$$

$$T(j) = \frac{\sum_{i=1}^{m} t(j,i)\left(t^2(j,i) - 1\right)}{12}, \quad j = 1,\ldots,m \, ,$$

где $t(j,i)$ – число повторений рангов $x(j,i)$ в j-м ряду.

В случае, когда учитывается компетентность экспертов введением весовых коэффициентов $c(j)$, $j = 1,\ldots,m$, коэффициент W рассчитывается следующим образом

$$W = \frac{12\sum_{i=1}^{n} d(i)^2}{\left[m^2 n\left(n^2 - 1\right) - 12m\sum_{j=1}^{m} T(j)\right] \cdot \left[\sum_{j=1}^{m} c(j)/m\right]^2},$$

$$d(j) = \left(\sum_{i=1}^{m} c(j)\, x(j,i)\right) - \frac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n}\ \sum_{j=1}^{m} c(j)\, x(j,i)\right]. \tag{17}$$

Веса $c(j)$ могут определяться различными путями. Например, на основе учета квалификации, образования, стажа работы по специальности и т.д. Более объективно для определения $c(j)$ можно использовать тесты или методы ранжирования другой группой экспертов.

Заметим, что используемые в формулах (15) – (17) ранги $x(j,\, i)$ обязательно должны удовлетворять условию нормировки (14). Например, ранги $y(j,\, i)$, проставленные j-м экспертом и занесенные в исходную матрицу рангов Y для $n = 6$, равны $y(j) = (2, 1, 1, -, -, -)$ и не удовлетворяют условию (14), после нормирования они имеют вид $x(j) = (3;\ 1{,}5;\ 1{,}5;\ 5;\ 5;\ 5)$, т.е. выполняется условие

$$\sum_{i=1}^{6} x(j,\, i) = \frac{6 \cdot 7}{2} = 21 \, .$$

В этом примере последовательность рангов $y(j)$ преобразуется в нормированный ряд $x(j)$ следующим образом. Эксперт поставил второй v_2 и третий v_3 варианты на первое место (две единицы в ряду

$y(j)$). В нормированном ряду два лучших варианта в сумме должны давать $1+2=3$. Поэтому этим вариантам присваиваются одинаковые значения $x(j,2)=x(j,3)=3/2=1{,}5$. На третье место *j*-й эксперт поставил 1-й вариант, поэтому $x(j,1)=3$. Остальные варианты эксперт считает одинаково неперспективными, они должны стоять на 4-м, 5-м и 6-м местах, поэтому

$$x(j,4)=x(j,5)=x(j,6)=\frac{4+5+6}{3}=5.$$

Достоверность предположения о согласованности мнений экспертов проверяется методами проверки статистических гипотез. Статистические гипотезы представляют собой некоторые предположения относительно характеристик случайных величин, вероятностных связей, вида зависимостей и т.п., которые подлежат проверке. Различают нулевые и альтернативные гипотезы. К нулевым гипотезам относятся предположения о равенстве нулю определяемых статистических показателей или отсутствии различия между ними.

Например, коэффициент ранговой корреляции K равен нулю или коэффициент конкордации $W=0$. В этих случаях отклонения оценок K и W от нуля объясняются лишь случайными колебаниями в статистических данных. Альтернативными называются все остальные гипотезы, например, $K>0$, $K<0$ или $W>0$.

Процедура обоснованного сопоставления гипотезы с полученными при исследовании практическими результатами (данными) называется статистической проверкой гипотез. Для осуществления проверки используется некоторая случайная величина λ – критическая статистика, которая связана с рассчитанным параметром (K, W и т.д.), при этом известен закон распределения λ в предположении правильности нулевой гипотезы, это распределение определяет соответствующий статистический критерий. Обычно критерий носит название закона распределения критической статистики.

Например, для проверки значимости коэффициента конкордации W, т.е. проверки гипотезы, что W существенно больше 0, могут использоваться *Z*-критерий Фишера и критерий «Хи-квадрат» Пирсона (или χ^2).

В первом случае в качестве критической статистики используется величина

$$\hat{Z}=0{,}5\ln[(n+1)W/(1-W)], \tag{18}$$

имеющая распределение с числами степеней свободы

$$\nu_1=n-1,\quad \nu_2=(m-1)\nu_1, \tag{19}$$

здесь n, m – число вариантов и экспертов соответственно.

Во втором случае рассматривается величина

$$\hat{\chi}^2=m(n-1)W, \tag{20}$$

подчиняющаяся распределению Пирсона с

$$\nu=n-1 \tag{21}$$

степенями свободы.

Число степеней свободы ν соответствует числу свободно варьируемых данных, по которым рассчитывается статистический показатель (в нашем примере W), это число определяется как разность между объемом выборки и числом наложенных связей.

Для формализации процедуры проверки статистической гипотезы область значений критической статистики λ делится на две части – допустимую L, в которой наиболее вероятны значения λ в предположении правильности нулевой гипотезы, и критическую $L_{кр}$, внутри которой появление значений λ при условии правильности нулевой гипотезы маловероятно [11].

Если рассчитанная по результатам экспертизы оценка критической статистики $\hat{\lambda}$ принадлежит L, то принимается нулевая гипотеза и исследуемый показатель считается незначимым. В противном случае, т.е. когда $\hat{\lambda}$ принадлежит $L_{кр}$ (или $\hat{\lambda}$ не принадлежит L), нулевая гипотеза отвергается, а исследуемый показатель считается значимым или существенно отличным от нуля, например, W существенно больше нуля и мнения экспертов можно считать согласованными.

Границу $\lambda_{гр}$ между областями L и $L_{кр}$ выбирают уровнем значимостью 100α, % или максимальной вероятностью α ошибки первого рода. Ошибка первого рода возникает, когда рассчитанная по результатам экспертизы оценка критической статистики $\hat{\lambda}$, принадлежащая $L_{кр}$, будет отброшена нулевая гипотеза, которая в действительности справедлива. При экспертных оценках рекомендуется брать $\alpha = 0{,}01$; $0{,}025$ или $0{,}05$ (соответственно уровни значимости 1 %; $2{,}5$ % или 5 %).

Проверка значимости коэффициента конкордации W производится в следующем порядке.

1 Выбирается статистический критерий (Фишера или Пирсона). При $n \ge 7$ рекомендуется использовать критерий Пирсона.

2 По формуле (18) или (20) рассчитывается оценка критической статистики ($\hat{z}$ или $\hat{\chi}^2$).

3 Задается уровень значимости 100α, %, рассчитываются числа (или число) степеней свободы ν по формулам (19) или (21) и по соответствующей статистической таблице критерия определяется граничное $\lambda(гр)$ или табличное $\lambda_т(\nu, \alpha)$ значение. Например, для критерия Пирсона по табл. 1П1 по значениям $\nu = n-1$ и 100α, % определяется $\chi^2_т(\nu, \alpha)$.

4 Принимается решение: если $\hat{\chi} \ge \chi_т(\nu,\alpha)$, то нулевая гипотеза отвергается и коэффициент конкордации W значим, при соответствующем значении 100α, %, если $\hat{\chi} < \chi_т(\nu,\alpha)$, то имеет место нулевая гипотеза и W незначим.

Для облегчения принятия решения по результатам высказываний экспертов рассчитываются результирующие (суммарные) и средние ранги вариантов, т.е.

$$xs(i) = \sum_{j=1}^{m} x(j,i) \quad \text{и} \quad \bar{x}(i) = \frac{1}{m} xs(i), \; i = 1,\dots,n .$$

По значениям $xs(i)$ и $\bar{x}(i)$ оцениваются рейтинги вариантов $R(i)$, $i = 1,\dots,n$ для случая значимого коэффициента W и $R1(i)$, $i = 1,\dots,n$ при незначимом W. Расчет $R(i)$ и $R1(i)$ выполняется по формулам

$$R(i) = \frac{1}{m}\left[\sum_{j=1}^{m}\left(1/x(j,i)\right)\right], \; i = 1,\dots,n, \tag{22}$$

$$R1(i) = \frac{1}{xs(i)}\left(\sum_{i=1}^{n} xs(i)\right), \; i = 1,\dots,n. \tag{23}$$

Заметим, что в формуле (22) обычно принимается $1/x(j,i) = 0$, если $x(j,i) = n`$.

Пример 1. В качестве примера рассмотрим обработку результатов экспертизы, представленных в табл. 1.

1 Оценки экспертов

Эксперты	Варианты (n = 6)

($m = 4$)	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4	υ_5	υ_6
1	1	2	1	4	3	5
2	1	2	2	3	1	4
3	1	1	3	2	3	4
4	1	1	3	3	4	3

После нормирования рангов данные заносятся в табл. 2.

2 Нормальные ранги

Эксперты	Варианты ($n = 6$)						Значения $T(j)$
	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4	υ_5	υ_6	
1	1,5	3	1,5	5	4	6	0,5
2	1,5	3,5	3,5	5	1,5	6	1
3	1,5	1,5	4,5	3	4,5	6	1
4	1,5	1,5	4	4	6	4	2,5
$xs(i)$	6	9,5	13,5	17	16	22	
$xs(i) - m(n+1)/2$	-8	-4,5	-0,5	3	2	8	
$(xs(i) - m(n+1)/2)^2$	64	20,25	0,25	9	4	64	

По результатам табл. 2 рассчитывается коэффициент конкордации (см. (16))

$$W = \frac{\sum_{i=1}^{6}\left(xs(i) - \frac{4 \cdot 7}{2}\right)^2}{\frac{1}{12}4^2 \cdot 6\left(6^2 - 1\right) - 4 \cdot (0{,}5 + 1 + 1 + 2{,}5)} = 0{,}621 .$$

Проверку значимости коэффициента W произведем по критерию «Хи-квадрат». Расчетное значение критерия в соответствии с (20) равно

$$\hat{\chi}^2 = m(n-1)W = 12{,}42 .$$

Значение $\hat{\chi}^2$ сравнивается с табличным, получаемым при $\alpha = 0{,}05$ и $\nu = n - 1 = 5$.

Так как

$$\hat{\chi}^2 = 12{,}42 > \chi^2_{\text{т}}(0{,}05;\, 5) = 11{,}07 ,$$

то мнения экспертов при уровне значимости 5 % можно считать согласованными.

Рейтинги вариантов, рассчитанные по формуле (22), равны:

$$R(1)=\frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4}\frac{1}{x(j,1)}=0{,}667\,; \quad R(2)=\frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4}\frac{1}{x(j,2)}=0{,}488\,;$$

$$R(3)=\frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4}\frac{1}{x(j,3)}=0{,}356\,; \quad R(4)=\frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4}\frac{1}{x(j,4)}=0{,}196\,;$$

$$R(5)=\frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4}\frac{1}{x(j,5)}=0{,}326\,; \quad R(6)=\frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4}\frac{1}{x(j,6)}=0{,}188\,.$$

Таким образом, наибольшие рейтинги по согласованному мнению экспертов имеют варианты υ_1 и υ_2.

Методы экспертных оценок имеют ряд разновидностей, отличающихся способами анализа вариантов экспертами (обычное ранжирование, парные сравнения и др.), обработки результатов, а также различиями на других стадиях проведения экспертиз. Обычно выделяют следующие стадии:

1) формулировка ЛПР проблемы и цели экспертизы;
2) подбор ЛПР основного состава рабочей группы (РГ);
3) разработка РГ и утверждение у ЛПР технического задания на проведение экспертного опроса;
4) разработка РГ подробного сценария проведения сбора и анализа экспертных мнений (оценок), включая конкретный вид экспертной информации (слова, условные градации, числа, ранжировки, разбиения или иные виды объектов нечисловой природы) и методы анализа этой информации (вычисление медианы Кемени, статистический анализ люсианов и иные методы статистики объектов нечисловой природы и других разделов прикладной статистики);
5) подбор экспертов в соответствии с их компетентностью;
6) формирование экспертной комиссии (целесообразно заключение договоров с экспертами об условиях их работы и ее оплаты, утверждение ЛПР состава экспертной комиссии);
7) проведение сбора экспертной информации;
8) анализ экспертной информации;
9) при наличии нескольких туров – повторение двух предыдущих этапов;
10) интерпретация полученных результатов и подготовка заключения для ЛПР;
11) официальное окончание деятельности РГ.

3.2 Векторный критерий

Качество проектируемых радиоэлектронных средств и их частей оценивается показателями, относящимися к различным свойствам – целевому назначению, помехозащищенности, пропускной способности, надежности и т.д. Комплекс показателей качества имеет исключительно большую размерность и включает как количественные величины, имеющие определенную размерность, количественные безразмерные (относительные) величины, так и качественные, например, оценивающие дизайн, и представляемые в баллах. Поэтому обычно при сравнении вариантов проектных решений комплекс показателей качества представляется в виде векторного критерия Q (см. (8)).

Все частные показатели делятся на две группы: монотонно «убывающие» (масса, стоимость и т.п.) и монотонно «возрастающие» (пропускная способность, вероятность безотказной работы и т.д.).

При формировании критерия Q рекомендуется:

1) выбирать минимальное число наиболее важных частных критериев $q_i,\ i=1,\dots,k$;

2) вектор Q должен с достаточной точностью характеризовать качество проектируемого узла или системы;

3) показатели q_i должны иметь ясный смысл и характеризовать простые свойства.

Обычно при решении задач оптимального проектирования все q_i приводятся к стандартному виду, т.е. они должны удовлетворять условиям: 1) $q_i > 0$; 2) чем меньше q_i, тем лучше; 3) у идеальной системы $q_i \to 0$.

Для сокращения размерности вектора Q отдельные показатели могут рассматриваться в виде ограничений.

Многокритериальность в задачах принятия проектных решений может рассматриваться в следующих аспектах:

1) непосредственно в смысле векторного критерия с k частными показателями (см. (8));

2) как результаты работы отдельных экспертов по скалярному критерию q, т.е. пусть $r(j,i),\ j=1,\ldots,m;\ i=1,\ldots,n$ нормированные ранги, выставленные m экспертами n вариантам, тогда для варианта υ_i можно рассматривать m-вектор показателей

$$Q_{Э}(\upsilon_i) = \left(r(1,i),\ r(2,i),\ldots,r(m,i)\right); \tag{24}$$

3) результаты оценок вариантов различными методами при скалярном критерии q в условиях, выполненных ЛПР, в этом случае

$$Q_M(\upsilon_i) = \left(q_1(\upsilon_i),\ q_2(\upsilon_i),\ldots,q_{\mu}(\upsilon_i)\right), \tag{25}$$

где $q_j(\upsilon_i),\ j=1,\ldots,\mu$ – значения показателей варианта υ_i, полученные различными методами; μ – число используемых методов;

4) для сравнения значений $q(i,s)$ на множестве ситуаций S.

Во всех рассмотренных случаях оптимальный вариант υ^* обычно определяется на основе «компромисса» между частными показателями. Наибольшее развитие получили алгоритмы решения многокритериальных задач, использующие [8, 9]:

–метод оптимизации по Парето;

–способы «свертки» векторного критерия в скалярный;

–способ выделения наиболее важного частного показателя в качестве основного и наложение ограничений на остальные показатели.

Многокритериальные задачи принятия проектного решения с использованием метода оптимизации по Парето обычно решаются в два этапа. На первом этапе формируется подмножество $\mathcal{V}^n$ Парето-оптимальных вариантов. На втором этапе применяется один из способов сведения векторного критерия Q в скалярный q, после чего используются методы для скалярных критериев.

Для задач ВПВ (см. (3)) второй этап зависит от соотношения между мощностями множеств $\mathcal{V}^n$ (получается в результате первого этапа) и $\mathcal{V}_0$ (задается условиями задачи). Если $\left|\mathcal{V}^n\right| = \left|\mathcal{V}_0\right|$, то второго этапа не требуется и $\mathcal{V}_0 = \mathcal{V}^n$. Если $\left|\mathcal{V}^n\right| > \left|\mathcal{V}_0\right|$, то выполняются работы второго этапа с вариантами $\upsilon \in \mathcal{V}^n$. Если же $\left|\mathcal{V}^n\right| < \left|\mathcal{V}_0\right|$, то расчеты начинаются с первого этапа для элементов $\upsilon \in \mathcal{V} \setminus \mathcal{V}_{\text{п}}$ с целью выделения подмножества вариантов $\mathcal{V}_0'$, для которого $\left|\mathcal{V}_0'\right| = \left|\mathcal{V}_0\right| - \left|\mathcal{V}^n\right|$.

Рассмотрим формирование подмножества Парето-оптимальных вариантов $\mathcal{V}^n$ на примере работы одного эксперта при ранжировании вариантов раздельно по всем частным критериям $q_j,\ j=1,\ldots,k$ (см. (8)), в результате такого ранжирования получается матрица рангов

$$R = \left\| r(j,i) \right\|_{k\times n}, \tag{26}$$

здесь $r(j,i)$ – ранг *i*-го варианта по *j*-му показателю.

Предполагается, что чем меньше ранг, тем вариант лучше. Тогда из двух вариантов υ_i и υ_ν, характеризующихся столбцами матрицы R

$$\begin{pmatrix} r(1,\, i) \\ r(2,i) \\ \vdots \\ r(k,i) \end{pmatrix} \quad \text{и} \quad \begin{pmatrix} r(1,\nu) \\ r(2,\nu) \\ \vdots \\ r(k,\nu) \end{pmatrix},$$

вариант υ_i считается предпочтительнее ($\upsilon_i \succ \upsilon_\nu$), если для всех $j=1,\ldots,k$, выполняется условие $r(j,i)$ меньше или равно $r(j,\nu)$, причем хотя бы по одному частному критерию строго $r(j,i)<r(j,\nu)$.

В случае, когда по отдельным частным критериям предпочтительнее вариант υ_i, а по другим – υ_ν, варианты υ_i и υ_ν считаются равнозначными или эквивалентными относительно векторного критерия Q, равнозначность вариантов обозначается $\upsilon_i \sim \upsilon_\nu$.

Вариант υ_i^* считается оптимальным, если он предпочтительнее по отношению к остальным $n-1$ вариантам, и оптимальным по Парето, если для него нет предпочтительных вариантов. Если имеется несколько вариантов, для которых нет предпочтительных, то эти варианты образуют подмножество вариантов $\mathcal{V}^n$, оптимальных по Парето $\left(\mathcal{V}^n \subseteq \mathcal{V}\right)$. Алгоритм формирования подмножества $\mathcal{V}^n$ следующий.

1 Сопоставляются варианты υ_1 и υ_2. Если $\upsilon_1 \sim \upsilon_2$, то переходят к сравнению υ_1 с υ_3. Если $\upsilon_1 \succ \upsilon_2$, то вариант υ_2 исключается из дальнейшего рассмотрения. Если же $\upsilon_2 \succ \upsilon_1$, то из рассмотрения исключается υ_1.

2 Аналогично вариант υ_1 попарно сопоставляется с остальными вариантами $\upsilon_3,...,\upsilon_n$. Все варианты υ_i, для которых имеет место $\upsilon_i \prec \upsilon_1$ исключаются из дальнейшего анализа.

В результате сравнений варианта υ_1 с другими вариантами υ_i, $i=2,\ldots,n$ первый вариант либо включается в подмножество $\mathcal{V}^n$ (если имеются варианты $\upsilon_i \prec \upsilon_1$), либо нет, если имеется вариант $\upsilon_i \succ \upsilon_1$. Если же имеет место $\upsilon_1 \succ \upsilon_i$, $i=2,\ldots,n$, то υ_1 является оптимальным вариантом υ^*.

3 Таким же образом производится попарное сравнение второго варианта (если $\upsilon_2 \sim \upsilon_1$ или $\upsilon_2 \succ \upsilon_1$) с оставшимися υ_i, $i=3,\ldots,n$ и т.д.

Аналогично подмножество $\mathcal{V}^n$ формируется и для других случаев. В задачах на максимум, когда q_j играют роль эффективностей, вариант υ_i предпочтительнее υ_ν $(\upsilon_i \succ \upsilon_\nu)$, если для всех $j=\overline{1,m}$ выполняется условие $q(j,i) \ge q(j,\nu)$, причем хотя бы по одному частному критерию $q(j,i) > q(j,\nu)$.

Естественно, что при формировании $\mathcal{V}^n$ все частные показатели должны быть ориентированы или только на максимум (эффективность), или только на минимум (затраты, ранги и т.д.).

Пример 2. Рассмотрим оптимизацию по Парето для исходных данных, содержащихся в примере 1 (табл. 3). Здесь роль частных показателей (q) играют мнения четырех экспертов $(k=m=4)$ при ранжировании шести вариантов $(n=6)$. Результаты сопоставления нормированных рангов первого варианта (υ_1) с остальными показывает, что υ_1 предпочтительнее каждого из остальных вариантов $\upsilon_i, i=2,...,6$, т.е. является оптимальным.

3 Результаты сопоставления варианта υ_1

υ_1 и υ_2	υ_1 и υ_3	υ_1 и υ_4	υ_1 и υ_5	υ_1 и υ_6
$1{,}5 < 3$	$1{,}5 \sim 1{,}5$	$1{,}5 < 5$	$1{,}5 \sim 1{,}5$	$1{,}5 < 6$

$1{,}5 < 3{,}5$	$1{,}5 < 3{,}5$	$1{,}5 < 5$	$1{,}5 < 6$	$1{,}5 < 6$
$1{,}5 \sim 1{,}5$	$1{,}5 < 4{,}5$	$1{,}5 < 3$	$1{,}5 < 4{,}5$	$1{,}5 < 6$
$1{,}5 \sim 1{,}5$	$1{,}5 < 4$	$1{,}5 < 4$	$1{,}5 < 6$	$1{,}5 < 4$

Если для дальнейшего исследования требуется отобрать три-четыре варианта, то формируется множество Парето-оптимальных вариантов из оставшихся пяти.

Результаты сопоставления вариантов υ_2 с $\upsilon_i, i = 3 \ldots 6$ (табл. 4) показывают, что $\upsilon_2 \sim \upsilon_3$, $\upsilon_2 \sim \upsilon_5$ и $\upsilon_2 \succ \upsilon_4$, $\upsilon_2 \succ \upsilon_6$, т.е. для υ_2 нет предпочтительных вариантов, и он включается в подмножество $\upsilon^{п}$, а варианты υ_4 и υ_6 исключаются из дальнейшего рассмотрения.

4 Результаты сопоставления варианта υ_2

υ_2 и υ_3	υ_2 и υ_4	υ_2 и υ_5	υ_2 и υ_6
$3 > 1{,}5$	$3 < 5$	$3 < 4$	$3 < 6$
$3{,}5 \sim 3{,}5$	$3{,}5 < 5$	$3{,}5 > 1{,}5$	$3{,}5 < 6$
$1{,}5 < 4{,}5$	$1{,}5 < 3$	$1{,}5 < 4{,}5$	$1{,}5 < 6$
$1{,}5 < 4$	$1{,}5 < 4$	$1{,}5 < 6$	$1{,}5 < 4$

Сравнение вариантов υ_3 с υ_5

υ_3 и υ_5
$1{,}5 < 4$
$3{,}5 > 1{,}5$
$4{,}5 \sim 4{,}5$
$4 < 6$

показывает, что они эквивалентны.

Таким образом, сопоставлением рангов для вариантов υ_i, $i = 2,\ldots,6$ выделено три варианта υ_2, υ_3, υ_5, для которых нет предпочтительных, эти варианты образуют подмножество Парето-оптимальных, т.е. $\upsilon^{п} = \{\upsilon_2, \upsilon_3, \upsilon_5\}$.

Для «свертывания» векторного критерия на втором этапе решения многокритериальных задач обычно используются «аддитивный» и «мультипликативный» способы.

При «аддитивном» способе свертывание производится путем сложения значений частных показателей с соответствующими весами. Так как обычно частные критерии имеют различную физическую природу и в соответствии с этим – различную размерность, то при образовании обобщенного критерия оперируют не с «натуральными» критериями, а с их нормированными значениями. Нормирование частных показателей производится путем отношения «натурального» критерия к некоторой нормирующей величине, измеряемой в тех же единицах, что и сам критерий.

Обычно применяется три подхода к выбору нормирующего делителя. В соответствии с первым подходом в качестве нормирующего делителя принимаются некоторые директивные значения параметров.

Второй подход предполагает выбор в качестве нормирующих делителей максимальных значений критериев, достигаемых в соответствующих областях.

При третьем подходе в качестве нормирующих делителей выбирают разность между максимальным и минимальным значениями критерия в области компромисса.

Выбор подхода к формированию безразмерной формы частных критериев в значительной степени носит субъективный характер и должен быть обоснован в каждом конкретном случае.

Таким образом, расчет аддитивного критерия для варианта υ_i производится по формуле

$$q_a(\upsilon_i) = \sum_{\nu=1}^{k} c_\nu \frac{q_\nu(\upsilon_i)}{q_\nu^{(o)}(\upsilon_i)}, \tag{27}$$

здесь c_ν – весовой коэффициент ν-го частного критерия; $q_\nu^{(o)}(\upsilon_i)$ – ν-й нормирующий делитель.

Введение весовых коэффициентов c_ν должно учитывать различную значимость частных показателей при формировании аддитивного критерия. Определение весовых коэффициентов часто встречает серьезные трудности и обычно сводится к использованию формальных процедур или к применению экспертных оценок.

Аддитивный критерий имеет ряд недостатков, главный из них состоит в том, что критерий q_a не вытекает из объективной роли частных показателей и выступает как формальный математический прием, придающий задаче удобный для решения вид. Другой недостаток заключается в том, что в критерии q_a может происходить взаимная компенсация частных критериев. Это значит, что значительное уменьшение одного из критериев вплоть до нулевого значения может быть покрыто возрастанием другого критерия. Для ослабления этого недостатка вводят ограничения на минимальные значения частных критериев и их весовых коэффициентов.

«Мультипликативный» способ предполагает перемножение частных критериев, т.е.

$$q_м(\upsilon_i) = \prod_{\nu=1}^{k} q_\nu(\upsilon_i). \tag{28}$$

В случае неравноценности частных показателей вводятся весовые коэффициенты c_ν и мультипликативный критерий принимает вид

$$q_м(\upsilon_i) = \prod_{\nu=1}^{m} q_\nu^{c_\nu}(\upsilon_i). \tag{29}$$

Достоинством мультипликативного критерия является то, что при его использовании не требуется нормировка частных показателей. К недостаткам критерия относятся: критерий компенсирует недостаточную величину одного частного показателя избыточной величиной другого и имеет тенденцию сглаживать уровни частных критериев за счет неравнозначных первоначальных значений критериев.

Таким образом, задача «свертывания» векторного критерия Q в скалярный q_a или $q_м$ является достаточно сложной и не имеет однозначного решения.

3.3 Метод парных сравнений

Метод парных сравнений часто используется при экспертизе вариантов сложных проектов, здесь трудоемкая процедура ранжирования n вариантов заменяется многократным применением более простой процедуры попарного сравнения вариантов между собой [9]. Достоинства этого метода особенно проявляются при векторных критериях оптимальности Q большой размерности и большом числе вариантов n.

Пусть сравниваются два варианта υ_p, υ_h из множества $\mathcal{V}$ и вариант υ_p по заданным критериям предпочтительнее варианта υ_h. Это будем обозначать $\upsilon_p \succ \upsilon_h$.

В ходе экспертизы каждый эксперт заполняет таблицу, в нее он заносит результаты парных сравнений, образующие $n \times n$ – матрицу

$$Z = \| z(h,\ p) \|_{n \times n},$$

где

$$z(h,p) = \begin{cases} 1, \text{ если } \upsilon_h \text{ предпочтительнее } \upsilon_p \left(\upsilon_h \succ \upsilon_p \right) \\ 0, \text{ если } \upsilon_h \prec \upsilon_p, \\ -, \text{ если } \upsilon_h = \upsilon_p. \end{cases}$$

Для *j*-го эксперта матрицу Z будем обозначать $Z(j)$. Общий вид матрицы $Z(j)$, характеризующей результаты парных сравнений, представлен в виде табл. 5.

Например, для четырех вариантов $(n = 4)$ заполненная одним экспертом табл. 5 может иметь вид, представленный табл. 6, ей соответствует матрица Z, равная

$$Z = \begin{vmatrix} - & 1 & 0 & 1 \\ 0 & - & 0 & 1 \\ 1 & 1 & - & 0 \\ 0 & 0 & 1 & - \end{vmatrix}.$$

5 Матрица парных сравнений *j*-го эксперта

Номера вариантов	υ_1	υ_2	...	υ_p	...	υ_n
υ_1	-	$z(1,2;j)$	...	$z(1,p;j)$	...	$z(1,n;j)$
υ_2	$z(2,1;\ j)$	-	...	$z(2,p;j)$	...	$z(2,n;j)$
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
υ_h	$z(h,1;j)$	$z(h,2;j)$	...	$z(h,p;j)$	...	$z(h,n;j)$
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
υ_n	$z(n,1;\ j)$	$z(n,2;\ j)$	...	$z(n,p;\ j)$	...	-

6 Пример заполненной матрицы парных сравнений одним экспертом

Номера вариантов	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4
υ_1	–	1	0	1
υ_2	0	–	0	1

υ_3	1	1	–	0
υ_4	0	0	1	–

Элементы данной матрицы означают, что эксперт при сравнении вариантов υ_1 и υ_2 отдал предпочтение первому варианту ($\upsilon_1 \succ \upsilon_2$), поэтому $z(1,2)=1$, при сравнении υ_1 с υ_3 – третьему ($\upsilon_1 \prec \upsilon_3$) и $z(1,3)=0$, при сравнении υ_1 с υ_4 – первому и $z(1,4)=1$ и т.д.

Матрицы $Z(j)$ обладают следующими свойствами:

1) по главной диагонали стоят знаки «–» (прочерк);

2) если элемент $z(h,p)=1$, то $z(h,p)=0$;

3) так как число парных сравнений вариантов равно числу сочетаний из n по 2, т.е.

$$C(2/n) = n \cdot (n-1)/2,$$

то матрица Z содержит $C(2/n)$ единиц и $C(2/n)$ нулей.

Третье свойство используется для проверки правильности заполнения матрицы экспертом, т.е.

$$\sum_{q=1}^{n} \sum_{p=1}^{n} z(h,p) = n(n-1)/2 .$$

Эксперту рекомендуется следующий порядок заполнения $Z(j)$.

Сначала следует попарно сравнивать вариант υ_1 с υ_2, ..., υ_n, т.е. заполнять первую строку матрицы $Z(j)$. Далее вариант υ_2 с υ_3, ..., υ_n и т.д. То есть достаточно записать значение $z(h,p;j)$ лишь выше главной диагонали. Другая часть матрицы заполняется на основе второго свойства (если $z(h,p)=1$, то $z(p,h)=0$).

При сравнении вариантов υ_h и υ_p по векторному критерию необходимо учитывать важность показателей и число показателей, по которым υ_h превосходит υ_p.

В результате работы m экспертов заполняется m таблиц $Z(j)$, $j=1,2,...,m$ парных сравнений. Обработка результатов экспертизы начинается с объединения этих таблиц в одну обобщенную табл. 7, содержащую ($n \times n$) – матрицу

$$\Gamma = \left\| g(h,p) \right\|_{n \times n},$$

элементы которой получаются суммированием соответствующих значений матриц $Z(j)$, т. е.

$$g(h,p)=\sum_{j=1}^{m} z(h,p;j).$$

Дополнительно табл. 7 содержит столбец $\sum 1$ и строку $\sum 2$. Элементы $(H_1,...,H_n)$ столбца $\sum 1$ равны суммам элементов строк матрицы Γ, т.е.

$$H_h=\sum_{p=1}^{n} g(h,p),$$

а элементы $P_1,...,P_n$ строки $\sum 2$ равны суммам элементов столбцов матрицы Γ, т.е.

$$P_p=\sum_{h=1}^{n} g(h,p).$$

Матрица Γ и компоненты табл. 7 должны удовлетворять следующим свойствам.

1 Сумма элементов матрицы Γ равна

$$\sum 3=\sum_{h=1}^{n}\sum_{p=1}^{n} g(h,p)=mC(2/n)=mn(n-1)/2.$$

2 При полном согласии мнений экспертов в $C(2/n)$ ячейках $g(h,p)=m$, в остальных $g(h,p)=0$.

3 При минимальном согласии каждая ячейка табл. 7 содержит $g=m/2$, если m-четное, и $g=(m+1)/2$ или $g=(m-1)/2$, если m – нечетное.

4 Сумма из элементов i-го столбца и i-ой строки постоянна для всех i, т.е.

$$\sum_{h=1}^{n} g(h,i) + \sum_{p=1}^{n} g(i,p) = \text{const}, \quad i = 1,2,...,n$$

или
$$H_1 + P_1 = H_2 + P_2 = ... = H_n + P_n .$$

5 Суммы элементов векторов $\sum 1 = (H_1,...,H_n)$ и $\sum 2 = (P_1,...,P_n)$ равны, т.е.

$$\sum_{h=1}^{n} H_h = \sum_{p=1}^{n} P_p = \sum 3 .$$

С помощью табл. 5 и табл. 7 вычисляется средняя частота предпочтения каждого варианта каждым экспертом и средний ранг фактора, полученный от всех экспертов.

Пример 3. В качестве примера рассмотрим случай парных сравнений для $n = 4$ и $m = 3$. Результаты сравнений экспертами приведены в табл. 8 – 10.

8 Матрица парных сравнений 1-го эксперта ($j = 1$)

Номера вариантов	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4	$f(h;1)$	$w(h;1)$
υ_1	–	1	0	1	2	1/3
υ_2	0	–	0	1	1	1/6
υ_3	1	1	–	0	2	1/3
υ_4	0	0	1	–	1	1/6

9 Матрица парных сравнений 2-го эксперта ($j = 2$)

Номера вариантов	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4	$f(h;2)$	$w(h;2)$
υ_1	–	0	0	1	1	1/6
υ_2	1	–	1	1	3	1/2
υ_3	1	0	–	0	2	1/6
υ_4	0	0	1	–	1	1/6

10 Матрица парных сравнений 3-го эксперта ($j = 3$)

Номера вариан-тов	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4	$f(h;3)$	$w(h;3)$
υ_1	–	0	0	0	0	0
υ_2	1	–	0	0	1	1/6
υ_3	1	1	–	0	2	1/3
υ_4	1	1	1	–	3	1/2

В этих таблицах содержатся также значения частот (чисел) предпочтения варианта υ_h j-м экспертом $f(h;j)$ и нормированных частот предпочтения варианта υ_h j-м экспертом $w(h;j)$, которые рассчитываются по формулам

$$f(h;j)=\sum_{p=1}^{n} z(h,p;j),$$

$$w(h;j)=\frac{f(h;j)}{C(2/n)},$$

причем
$$\sum_{h=1}^{n} w(h;j)=1,$$

т.е. нормирование заключается в делении частот $f(h;j)$ на число сравнений $C\left(\frac{2}{n}\right)=\frac{n(n-1)}{2}$.

По существу $f(h;j)$, $q=1,\ldots,n$ есть суммы элементов строк матрицы $Z(j)$. В рассматриваемом примере для первого эксперта $f(h;j)$, $h=1,\ldots,4$ равны

$$f(1;1)=z(1,2;1)+z(1,3;1)+z(1,4;1)=1+0+1=2;$$

$$f(2;1)=0+0+1=1;\quad f(3;1)=1+1+0=2;$$
$$f(4;1)=0+0+1=1 \text{ и т.д.}$$

$$w(1;1)=f(1;1)\big/C(2/4)=\frac{2}{6}=\frac{1}{3};$$

$$w(2;1)=\frac{1}{6};\quad w(3;1)=\frac{1}{3};\quad w(4;1)=\frac{1}{6} \text{ и т.д.}$$

Обобщенная матрица *Г* для рассматриваемого примера содержится в табл. 11. Здесь выполнены все свойства матрицы *Г*, т.е.

$$\sum 3=3\cdot 4\cdot\frac{1}{2}(4-1)=18;\quad \sum_{i=1}^{4} g(h,i)+\sum_{p=1}^{4} g(i,p)=9 \text{ для } i=1,2,3,4$$

и $\sum_{q=1}^{4} H_h=\sum_{p=1}^{4} P_p=18$.

11 Обобщенная матрица для *n* = 4 и *m* =3

Номера вариантов	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4	$\sum 1$	$w(h)$
υ_1	–	1	0	2	$H_1=3$	1/6
υ_2	2	–	1	2	$H_2=5$	5/18
υ_3	3	2	–	0	$H_3=5$	5/18
υ_4	1	1	3	–	$H_4=5$	5/18

$\sum 2$	$P_1 = 6$	$P_2 = 4$	$P_3 = 4$	$P_4 = 4$	$\sum 3 = 18$

Последний столбец табл. 11 содержит значения нормированных средних частот (рейтингов) $w(h)$, $h = 1,\ldots,n$ с учетом мнения всех экспертов, которые вычисляются по формуле

$$w(h) = \frac{\sum_{h=1}^{m} w(h; j)}{\sum_{j=1}^{m}\sum_{h=1}^{m} w(h; j)} = \frac{1}{m}\sum_{h=1}^{m} w(h; j).$$

В нашем примере

$$w(1) = \frac{\sum_{q=1}^{3} w(1; j)}{\sum_{j=1}^{3}\sum_{h=1}^{3} w(h; j)} = \frac{1/3 + 1/6 + 0}{(1/3 + 1/6 + 0 + 1/6 + 1/2 + \ldots)} = \frac{1}{6} \approx 0{,}17\,,$$

$$w(2) = \frac{1/6 + 1/2 + 1/6}{3} = \frac{5}{18} \approx 0{,}27,$$

$$w(3) = \frac{1/3 + 1/6 + 1/3}{3} = \frac{5}{18} \approx 0{,}27\,,$$

$$w(4) = \frac{1/6 + 1/6 + 1/2}{3} = \frac{5}{18} \approx 0{,}27.$$

Заметим, что частоты $w(h)$, $h = 1,\ldots,n$ можно рассчитывать также непосредственно по табл. 11 по формуле

$$w(h) = \frac{H_h}{\sum 3}.$$

Чем больше значение $w(h)$, тем предпочтительнее вариант υ_h.

При последующей обработке табл. 7 преобразуется в таблицу, где варианты располагаются в порядке убывания значений H_h. При равенстве значений H_h на первое место ставится вариант υ_h, в строке матрицы Γ которого содержится $g(\max)$ и нет нулей, на 2-е место с $g(\max)$ и нулями, на 3-е без $g(\max)$ и т.д. Покажем это на примере преобразований табл. 11 в табл. 12.

Здесь на первом месте записан четвертый вариант, так как υ_4 содержит $g(\max)$ = 3 и в строке нет нулей. Далее вариант υ_3 с $g(\max)$ и одним нулем, затем υ_2 с двумя $g = 2$ и, наконец, υ_1 с $g = 2$ и нулем.

12 Преобразованная обобщенная матрица с *n* = 4 и *m* = 3

Номера вариантов	υ_4	υ_3	υ_2	υ_1	Средние частоты $w(h)$

υ_4	–	3	1	1	5/18
υ_3	0	–	2	3	5/18
υ_2	2	1	–	2	5/18
υ_1	2	0	1	–	1/6

Таким образом, в табл. 12 варианты располагаются в порядке предпочтения по результатам опроса экспертов, отмеченное преобразование позволяет разделить варианты даже с одинаковыми рангами.

Далее при обработке анкет рассчитывается коэффициент согласия $W_п$, характеризующий насколько согласованы мнения экспертов при парных сравнениях. Расчет $W_п$ производится по формулам

$$W_п = \frac{4S}{m(m-1)n(n-1)},$$

$$S = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} C(2/g(i,j)),$$

где $C(2/g(i,j))$ – число сочетаний из $g(i,j)$ по 2, здесь $g(i,j)$ – элемент матрицы Γ в табл. 7 (табл. 11 или табл. 12), при этом

$$C(2/g(i,j)) = \begin{cases} 0, \text{ если } g(i,j) < 2, \\ 1, \text{ если } g(i,j) = 2, \\ \dfrac{g(g-1)}{2}, \text{ если } g(i,j) > 2. \end{cases}$$

Например, для табл. 11 имеем

$$g(1{,}4) = g(2{,}1) = g(2{,}4) = g(3{,}2) = 2 \text{ и}$$
$$C(2/g(1{,}4)) = C(2/g(2{,}1)) = C(2/g(2{,}4)) = C(2/g(3{,}2)) = 1,$$

$$g(3{,}1) = g(4{,}3) = 3 \text{ и } C(2/g(3{,}1)) = C(2/g(4{,}3)) = \frac{3\times 2}{2} = 3$$

для остальных $g(i,j)$ $C(2/g(i,j)) = 0$.

В результате получаем

$$S = \sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{4} C(2/g(i,j)) = 1\times 4 + 3\times 2 + 0\times 12 = 10,$$

$$W_п = \frac{4\cdot 10}{3\cdot 2\cdot 4\cdot 3} = \frac{5}{9} \approx 0{,}55.$$

Коэффициент $W_п$ может находиться в пределах от $W_п(\min)$ (при минимальном согласии экспертов) до 1 (полное согласие), т.е. $W_п$ принадлежит $[W_п(\min);\, 1]$.

Значение $W_п(\min)$ рассчитывается из соотношения

$$W_п(\min)=\begin{cases}\dfrac{m-1}{2m}, & \text{если } m \text{ нечетное,}\\ \dfrac{m-2}{2(m-1)}, & \text{если } m \text{ четное.}\end{cases}$$

В нашем примере $m=3$ и

$$W_п(\min)=\frac{3-1}{2\cdot 3}=\frac{1}{3}\approx 0{,}33.$$

Таким образом, $W_п=0{,}55$ принадлежит интервалу [0,33; 1].

Оценка значимости коэффициента $W_п$, т.е. существенно ли он отличается от $W_п(\min)$, при больших *m* и *n* производится с использованием критерия «Хи – квадрат» (χ^2).

Для этого рассчитывается оценка критерия по результатам экспертизы

$$\hat{\chi}^2=\frac{4}{m-2}\left[S-0{,}5C(2/n)\;C(2/m)\frac{m-3}{m-2}\right]$$

и число степеней свободы

$$\nu=C(2/n)\frac{m(m-1)}{(m-2)^2}.$$

Значение $\hat{\chi}^2$ сравнивается с табличным $\chi^2_т(\nu,\alpha)$, определяемым по числу ν и уровню значимости α (обычно $100\,\alpha,\%=1\,\%$ или $100\,\alpha,\%=5\,\%$ (табл. 13). Более полная таблица значений $\chi^2_т(\nu,\alpha)$ дана в табл. 1.П.1.

13 Значения $\chi^2_т(\nu,\alpha)$

Число степеней свободы, ν	Уровень значимости	
	$100\,\alpha=1\,\%$	$100\,\alpha=5\,\%$
2	9,21	5,99
4	13,28	9,49
6	16,81	12,59
8	20,09	15,51
10	23,21	18,31
12	26,23	21,03
14	29,14	23,69
16	32	26,30

Если $\hat{\chi}^2>\chi^2_т(\nu,\alpha)$, то гипотеза о значимости $W_п$ (согласованности мнений экспертов) принимается, в противном случае ($\hat{\chi}^2<$ или $=\chi^2(\nu,\alpha)$) – отвергается.

Для m, равном от 3 до 6, и n, равном от 2 до 8, построены специальные таблицы, в которых даны вероятности P того, что величина S будет достигнута или превышена при случайной ранжировке для $m=3$ (табл. 14).

14 Число экспертов *m* = 3

$n=3$		$n=4$		$n=5$	
S	P	S	P	S	P
3	1	6	1	10	1
5	0,578	8	0,822	12	0,944
7	0,156	10	0,466	14	0,756
9	0,016	12	0,169	16	0,474
–	–	14	0,038	18	0,224
–	–	16	0,0046	20	0,078
–	–	–	–	22	0,020
–	–	–	–	24	0,0035

В нашем примере $m=3$, $n=4$, $S=10$, для этих данных при случайной ранжировке величина S может иметь место или превышена с вероятностью $P=0{,}466$ или $\alpha=0{,}534$ (табл. 14), поэтому коэффициент $W_{\text{п}}$ значимым признать нельзя. Для $100\alpha=5\,\%$ необходимо $S\geq 14$.

4 принятие решений в УСЛОВИЯХ неопределенности и частичной неопределенности

При выполнении работ на фазах планирования и проектирования (разработки) жизненного цикла проекта могут использоваться различные методы принятия решений в условиях неопределенности. Принимаемое решение часто зависит от применяемого метода и во многих случаях далеко неочевидно, какой метод следует применять.

Если вероятности возможных ситуаций, в которых будут реализовываться результаты проекта, неизвестны и исходными данными для принятия решения служит матрица эффективностей $\mathrm{E}=\|e_{ij}\|_{n;k}$ (здесь e_{ij} – эффективность варианта υ_i, $i=\overline{1,n}$ в ситуации s_j, $j=\overline{1,k}$), то широкое применение получили методы равной вероятности, Гурвица (Гурвича) и Шанявского [12]. Эти методы отличаются простотой, их удобно использовать, если допускается риск от неправильно выбранного варианта.

В методе равной вероятности оптимальным считается вариант, для которого среднее значение эффективности по возможным ситуациям максимально, т.е.

$$\upsilon^* = \arg\max_i \left\{ \bar{e}(\upsilon_i) = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k} e_{ij},\ i=\overline{1,n} \right\}. \qquad (30)$$

Таким образом, здесь в качестве критерия оптимальности варианта выступает значение

$$q_{\text{рв}}(\upsilon_i) = \bar{e}(\upsilon_i).$$

Если вместо матрицы эффективности E задается матрица затрат (потерь) $G = \|g_{ij}\|_{n,k}$, то оптимальным считается вариант, для которого критерий

$$q_{\text{рв}}(\upsilon_i) = \bar{g}(\upsilon_i) = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k} g_{ij}$$

минимален.

Задачи с матрицей E называют задачами на максимум, а с матрицей G – на минимум.

В методе Гурвица в задаче на максимум роль критерия $q_{\text{г}}(\upsilon_i)$ играет взвешенное значение минимальной и максимальной эффективности варианта, т.е.

$$q_{\text{г}}(\upsilon_i) = ce_i^{\min} + (1-c)e_i^{\max}, \tag{31}$$

$$e_i^{\min} = \min_j \left\{e_{ij},\ j = \overline{1,k}\right\}, \quad e_i^{\max} = \max_j \left\{e_{ij},\ j = \overline{1,k}\right\},$$

где c – весовой коэффициент, $c \in (0;\,1)$.

Для оптимального варианта имеет место

$$\upsilon^* = \arg\max_i \left\{q_{\text{г}}(\upsilon_i),\ i = \overline{1,n}\right\}.$$

Если решается задача на минимум, то

$$\upsilon^* = \arg\min_i \left\{q_{\text{г}}(\upsilon_i),\ i = \overline{1,n}\right\},$$

$$q_{\text{г}}(\upsilon_i) = cq_i^{\min} + (1-c)q_i^{\max},$$

$$q_i^{\min(\max)} = \min_j \left(\max_j\right) \left\{q_{ij},\ j = \overline{1,k}\right\}.$$

Метод Шанявского использует результаты, получаемые методом равной вероятности с некоторой коррекцией. В задаче на максимум варианты сравниваются по критерию

$$q_{\text{ш}}(\upsilon_i) = cq_{\text{рв}}(\upsilon_i) + (1-c)e_i^{\min}, \tag{32}$$

$$\upsilon^* = \arg\max_i \left\{q_{\text{ш}}(\upsilon_i),\ i = \overline{1,n}\right\},$$

в задаче на минимум

$$q_{\text{ш}}(\upsilon_i) = cq_{\text{рв}}(\upsilon_i) + (1-c)e_i^{\max}, \tag{33}$$

$$\upsilon^* = \arg\min_i \left\{q_{\text{ш}}(\upsilon_i),\ i = \overline{1,n}\right\}.$$

Критерий $q_ш(\upsilon_i)$ в отличие от критериев $q_{рв}(\upsilon_i)$ и $q_г(\upsilon_i)$ следует использовать в случаях, когда при выборе оптимального варианта требуется больше осторожности. Вместе с тем, все эти методы позволяют получить эффект, если решение по однотипной проблеме принимается достаточно часто, т.е. выигрыш будет достигнут в среднем при многократном решении задач.

В качестве иллюстративного примера рассмотрим использование этих методов для матрицы эффективности представленной в табл. 15. Здесь же содержаться рассчитанные значения критериев $q_{рв}$, $q_г$ и $q_ш$ при $c = 0{,}5$.

15 Матрица эффективности

Варианты	Ситуации			Значение критериев		
	s_1	s_2	s_3	$q_{рв}$	$q_г$	$q_ш$
υ_1	8	6	2	5,33*	5	3,67
υ_2	7	5	3	5	5	4
υ_3	6,5	4	4,5	5	5,5	4,75*
υ_4	7	2	4,5	4,5	5,75*	4,5

Как видно из табл. 15 по критерию $q_{рв}$ следует отдать предпочтение варианту υ_1, по критерию $q_г$ – варианту υ_4 и по критерию $q_ш$ – υ_3.

В случае, когда большую роль играют последствия ошибочных решений или альтернативных потерь, которые мы понесем по сравнению со случаем заранее ситуации, применяется метод Сэвиджа. Построение матрицы R последствий ошибочных решений, когда q соответствует эффективности (задача на максимум), производится следующим образом:

1) для каждого столбца матрицы $\|e_{ij}\|_{n;к}$ находятся максимальные элементы, т.е.

$$e_{i1}^{\max}, e_{j2}^{\max}, \cdots, e_{\nu k}^{\max}, \tag{34}$$

2) из элементов (34) вычитаются другие элементы соответствующих столбцов, в результате получаем элементы матрицы R, т.е.

$$r_{11} = e_{i1}^{\max} - e_{11},\ r_{21} = e_{i1}^{\max} - e_{21} \text{ и т.д.}$$

В качестве показателей вариантов – критерия q_c рассматриваются максимальные значения в строках матрицы R, предпочтительнее вариант с минимальным значением показателя, т.е.

$$\upsilon^* = \arg\min_i \{q_c(\upsilon_i),\ i = \overline{1,n}\}, \qquad q_c(\upsilon_i) = \max_j \{r_{ij}\}. \tag{35}$$

Для данных табл. 15 максимальные элементы в столбцах соответственно равны

$$e_1^{\max} = 8, \quad e_2^{\max} = 6, \quad e_3^{\max} = 4{,}5.$$

Матрица R последствий ошибочных решений приведена в табл. 16. В соответствии с (35) оптимальным по методу Сэвиджа является вариант υ_2.

16 Матрица последствий ошибочных решений

Вариан-ты	Ситуации			q_c
	S_1	S_2	S_3	
υ_1	0	0	2,5	2,5
υ_2	1	1	1,5	1,5
υ_3	1,5	2	0	2
υ_4	1	4	0	4

Если рассматриваемая проблема имеет большое значение, цена риска принять неправильное решение исключительно велика, решение реализуется однократно, необходимо учитывать возможные ситуации, вероятности которых неизвестны, при этом значения матрицы эффективности E (или затрат G) достаточно достоверны, то обычно применяются методы теории игр [6, 12].

В случае решения задачи на максимум с использованием матрицы E применяется максиминный критерий и предпочтение отдается варианту, для которого наименьшее значение $e_{i\min} = \min\limits_j \{e_{ij}\}$ максимально, т.е.

$$\upsilon^* = \arg\max_i \left\{ \min_j \{e_{ij}\} \right\}. \tag{36}$$

Для матрицы эффективностей E, приведенной в табл. 15,

$$e_{1\min} = 2, \quad e_{2\min} = 3, \quad e_{3\min} = 4, \; e_{4\min} = 2.$$

В соответствии с соотношением (36) $\upsilon^* = \upsilon_3$, для этого варианта гарантирован результат с эффективностью не менее $e_{3\min} = 4$ при любых возможных ситуациях.

Для задач на минимум с матрицей G используется минимаксный критерий, т.е.

$$\upsilon^* = \arg\min_i \left\{ \max_j \{g_{ij}\} \right\}. \tag{37}$$

В этом случае в каждой строке находятся максимальные значения затрат $g_{i\max} = \max\limits_j \{g_{ij}\}$ и выбирается вариант υ^* с минимальным значением $g_{i\max}$.

В предположении, что в табл. 15 содержатся значения матрицы G, то

$$g_{1\max} = 8; \quad g_{2\max} = 7; \quad g_{3\max} = 6{,}5; \quad g_{4\max} = 7 \; \text{и} \; \upsilon^* = \upsilon_3.$$

В задачах на максимум иногда используется простой критерий в виде произведения элементов строк, т.е.

$$q_{\text{пр}}(\upsilon_i) = \prod_{j=1}^{k} e_{ij},$$

и определяется вариант

$$\upsilon^* = \arg\max_i \left(q_{\text{пр}}(\upsilon_i) \right).$$

Этот критерий может использоваться в случаях, когда необходимо считаться со всеми ситуациями и допускается некоторый риск.

Если в матрице $\left\|e_{ij}\right\|_{n,k}$ содержатся и отрицательные элементы, то критерий $q_{\text{пр}}$ можно использовать перейдя от исходной к новой матрице $\left\|e_{ij}+a\right\|_{n,k}$, $a>\left|\min\limits_{i,j} e_{ij}\right|$.

В случаях, когда вероятности $P(s_j)$, $j=1,\ldots,k$ ситуаций известны, достаточное распространение получил метод Байеса-Лапласа [12]. В задачах на максимум варианты сравниваются по усредненным с учетом вероятностей значениям критерия, т.е.

$$q_{\text{Б.Л}}(\upsilon_i)=\sum_{j=1}^{k} e_{ij} P(s_j), \tag{48}$$

и предпочтение отдается варианту

$$\upsilon^* = \arg\max_i \left\{q_{\text{Б.Л}}(\upsilon_i),\ i=1,\ldots,n\right\}. \tag{49}$$

В задачах на минимум

$$\upsilon^* = \arg\min_i \left\{q_{\text{Б.Л}}(\upsilon_i),\ i=1,\ldots,n\right\}, \tag{50}$$

$$q_{\text{Б.Л}}(\upsilon_i)=\sum_{j=1}^{k} g_{ij} P(s_j).$$

Область применения метода Байеса-Лапласа: 1) вероятности ситуаций $P(s_j)$, $j=1,\ldots,k$ известны и их можно считать постоянными на период реализации проекта; 2) решение по проектированию подобных систем принимается и реализуется часто; 3) риск от неправильно принятого решения не приводит к серьезным последствиям.

Например, пусть матрица E в табл. 15 дополнена следующими вероятностями ситуаций

$$P(s_1)=0{,}6\,;\quad P(s_2)=0{,}1\,;\quad P(s_3)=0{,}3\,,$$

тогда

$$q_{\text{Б.Л}}(\upsilon_1)=8\cdot 0{,}6+6\cdot 0{,}1+2\cdot 0{,}3=6\,,$$

$$q_{\text{Б.Л}}(\upsilon_2)=7\cdot 0{,}6+5\cdot 0{,}1+3\cdot 0{,}3=5{,}6\,,$$

$$q_{\text{Б.Л}}(\upsilon_3)=6{,}5\cdot 0{,}6+4\cdot 0{,}1+4{,}5\cdot 0{,}3=5{,}65\,,$$

$$q_{\text{Б.Л}}(\upsilon_4)=7\cdot 0{,}6+2\cdot 0{,}1+4{,}5\cdot 0{,}3=5{,}75$$

и $\upsilon^*=\upsilon_1$.

Метод Байеса-Лапласа часто используется в сочетании с другими методами.

Например, критерий Ходжа-Лемана определяется в виде взвешенного среднего между оценками, получаемыми методами Байеса-Лапласа и максимина (в задаче на максимум), т.е.

$$q_{\text{Х.Л}}(\upsilon_i)=c\sum_{j=1}^{k} q_{ij} P(s_j)+(1-c)\min_j\left\{e_{ij}(\upsilon)\right\}. \tag{51}$$

и

$$\upsilon^* = \arg\max_i \left(c\sum_{j=1}^{k} e_{ij} P\left(s_j\right) + (1-c)\min_j \left\{ e_{ij}(\upsilon) \right\} \right). \qquad (52)$$

Данный метод применяется в случаях, когда имеются некоторые предположения о вероятностях ситуаций $P\left(s_j\right),\ j=1,\ldots,k$, принятое решение может реализоваться много раз и допускается некоторый риск.

Если рассматриваются значения потерь (затрат) в различных ситуациях и $q_{ij} < 0$, то можно использовать критерий Гермейера. Согласно этому критерию для каждой строки находится наименьшее значение в виде

$$q_{\text{гер}}(\upsilon_i) = \min_j \left\{ q_{ij} P\left(s_j\right) \right\} \qquad (53)$$

и затем определяется вариант υ^* с максимальным значением $q_{\text{ГЕР}}(\upsilon_i)$, т.е.

$$\upsilon^* = \arg\max_i \left\{ q_{\text{гер}}(\upsilon_i) \right\}. \qquad (54)$$

Данный критерий можно использовать и при отдельных положительных значениях q_{ij}. В этих случаях подбирают некоторое число $a > 0$ и матрицу $\left\| q_{ij} \right\|_{n,k}$ пересчитывают в $\left\| q_{ij} - a \right\|_{n,k}$ со всеми отрицательными элементами.

Область применения критерия: вероятности ситуаций приближенно известны и с ними надо считаться, решение реализуется один (или малое число) раз и допускается некоторый риск.

Известен ряд более сложных составных критериев, которые используют результаты, получаемые различными методами, например, в виде объединения критериев Байеса-Лапласа и минимакса. В данном случае матрица $\left\| e_{ij} \right\|_{n,k}$ дополняется тремя столбцами:

– в первом записываются усредненные значения (математические ожидания) строк, т.е.

$$q_{\text{БЛ}}(\upsilon_i) = \sum_{j=1}^{k} e_{ij} P\left(s_j\right);$$

– во втором – вычисленная разность между "опорным" значением

$$q_{\max}^{(i_o, j_o)} = \max_i \max_j \left\{ e_{ij} \right\} \qquad (55)$$

и наименьшими значениями в строках

$$q_{\min}(\upsilon_i) = \min_j \left\{ e_{ij} \right\}; \qquad (56)$$

– в третьем столбце помещаются разности между

$$q_{\max}(\upsilon_i) = \max_j \left\{ e_{ij} \right\} \qquad (57)$$

и наибольшим значение $q_{\max}(i_{\text{o}}, j)$ той строки, в которой находится $q_{\max}(i_{\text{o}}, j_{\text{o}})$.

Выбирается вариант υ^*, который имеет наибольшее математическое ожидание и при этом выполняются следующие условия между элементами второго и третьего столбцов:

1) соответствующее значение из второго столбца

$$q_{\max}(i_о, j_о) - q_{\min}(\upsilon^*)$$

должно быть меньше или равно задаваемому уровню риска $\varepsilon_{доп}$;

2) значение из третьего столбца для строки υ^* должно быть больше значения из второго столбца.

Область применения данного критерия: имеется априорная информация о вероятностях $P(s_j)$, $j = 1, \ldots, k$; необходимо в комплексе учитывать возможные ситуации и допускается ограниченный риск.

В последние годы большое распространение стали получать алгоритмы принятия решений, основанные на нечетких множествах и нечеткой логике. Эти алгоритмы особенно эффективны, когда ситуации известны весьма приближенно. Однако здесь требуется значительная работа по определению функций принадлежности, что иногда связано с серьезными трудностями.

5 принятие решений В УСЛОВИЯХ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Для условий определенности, когда исходные данные решаемой задачи известны точно, могут использоваться методы математического программирования, в том числе линейного, квадратичного и др. Наряду с этими методами, использующими детерминированными модели связей между критерием оптимальности и варьируемыми переменными, находят применение методы, основанные на количественных показателях, обеспечивающих числовую шкалу предпочтений для альтернативных вариантов. Одним из них является метод анализа иерархий или иерархического анализа AHP (Analytic Hierarchy Process) [2, 6].

Рассмотрим этот метод на примере проблемы выбора предприятия – поставщика радиоэлементов.

Пусть имеется четыре альтернативных варианта поставщика $\upsilon_i, i = \overline{1,4}$, они оцениваются тремя критериями – качество $q_к$, цена $q_ц$ и сервис $q_с$. Данная задача характеризуется иерархией, представленной на рис. 3.

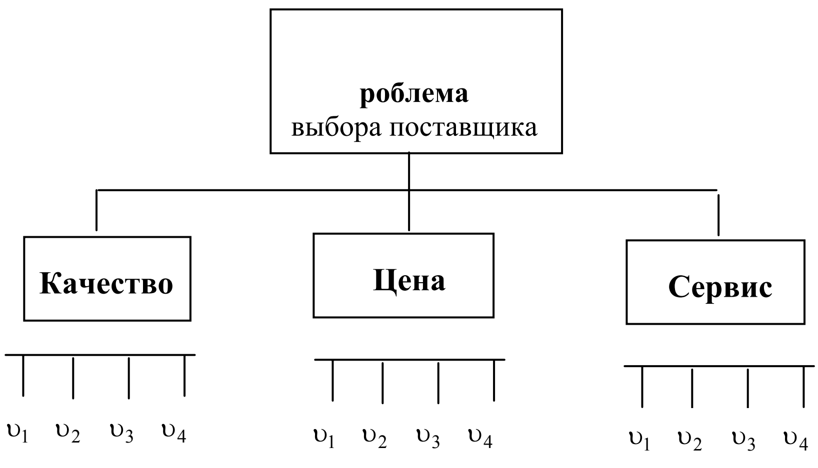


РИС. 3 ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЗАДАЧИ

Для установления предпочтения вводится шкала оценок (табл. 17).

17 Шкала оценок предпочтения

Словесное выражение предпочтений	Оценка в баллах
ОТСУТСТВИЕ ПРЕДПОЧТЕНИЙ	1
Умеренное предпочтение	2 – 3
Среднее предпочтение	4 – 5
Сильное предпочтение	6 – 7
Очень сильное предпочтение	9

Используя эти оценки, заполняется исходная матрица попарного сравнения критериев. Пусть качество несколько предпочтительнее сервиса, а цена умеренно предпочтительнее сервиса. Эти предпочтения отражены матрицей $A = \|a_{ij}\|_{3,3}$ в табл. 18.

18 Матрица попарного сравнения критериев

Критерии	Качество	Цена	Сервис
КАЧЕСТВО	1	2	4
Цена	1/2	1	3
Сервис	1/4	1/3	1
Сумма	7/4	10/3	8

По данным матрицы табл. 18 вычисляется скорректированная матрица $B = \|b_{ij}\|_{3,3}$ с весовыми коэффициентами *C* (табл. 19).

19 Скорректированная матрица

Критерии	Качество	Цена	Сервис	Весовой коэффициент c_i

КАЧЕ-СТВО	4/7	6/10	4/8	0,557
Цена	2/7	3/10	3/8	0,320
Сервис	1/7	1/10	1/8	0,123
			Сумма	1, 000

Элементы b_{ij} матрицы B рассчитываются по формуле

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{3} a_{ij}},$$

а весовые коэффициенты

$$c_{ij} = \frac{1}{3}\sum_{j=1}^{3} b_{ij}.$$

В нашем примере весовые коэффициенты для качества, цены и сервиса соответственно равны 0,557; 0,320 и 0,123, т.е. качество оценивается важнее цены примерно в 1,7 раза и в 4,5 раза важнее сервиса.

Далее аналогичным образом по каждому критерию производится попарное сопоставление вариантов и вычисляются соответствующие весовые коэффициенты. Результаты сравнения вариантов по качеству приведены в табл. 20 и 20а, по цене – в табл. 21 и 21а, по сервису – в табл. 22 и 22а.

20 Матрица сравнения вариантов по качеству

Варианты	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4
υ_1	1	5	6	1/3
υ_2	1/5	1	2	1/6
υ_3	1/6	1/2	1	1/8
υ_4	3	6	8	1
Сумма	131/30	25/2	17	39/24

20а Скорректированная матрица сравнения вариантов по качеству

Варианты	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4	Весовой коэффициент, $d_{k,i}$
υ_1	30/131	2/5	6/17	8/39	0,297

υ_2	6/131	2/25	2/17	4/39	0,087
υ_3	5/131	1/25	1/17	3/39	0,053
υ_4	90/131	12/25	8/17	24/39	0,563
				Сумма	1,000

21 Матрица сравнения вариантов по цене

Варианты	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4
υ_1	1	1/3	5	8
υ_2	3	1	7	9
υ_3	1/5	1/7	1	2
υ_4	1/8	1/9	1/2	1
Сумма	173/40	100/63	27/2	20

21а Скорректированная матрица сравнения вариантов по цене

Варианты	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4	Весовой коэффициент, $d_{ц,i}$
υ_1	40/173	21/100	10/27	8/20	0,303
υ_2	120/173	63/100	14/27	9/20	0,573
υ_3	8/173	9/100	2/27	2/20	0,078
υ_4	5/173	7/100	1/27	1/20	0,046
				Сумма	1,000

22 Матрица сравнения вариантов по сервису

Варианты	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4
υ_1	1	5	4	8
υ_2	1/5	1	1/2	4
υ_3	1/4	2	1	5
υ_4	1/8	1/4	1/5	1
Сумма	63/40	33/4	57/10	18

22а Скорректированная матрица сравнения вариантов по сервису

Варианты	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4	Весовой коэффициент, $d_{c,i}$
υ_1	40/63	20/33	40/57	8/18	0,597
υ_2	8/63	4/33	5/57	4/18	0,140

υ_3	10/63	8/33	10/57	5/18	0,213
υ_4	5/63	1/33	2/57	1/18	0,050
				Сумма	1,000

С помощью весовых коэффициентов C_i, $d_{k,i}$, d_i, $d_{c,i}$ (табл. 19, 20а, 21а, 22а) рассчитываются весовые коэффициенты R_i вариантов по формуле

$$R_i = c_1 d_{ki} + c_2 d_{цi} + c_3 d_{ci}, \quad i = \overline{1,4}.$$

Результаты расчетов коэффициентов R_i, являющихся рейтингами поставщиков, приведены в табл. 23. Из сопоставления значений R_i видно, что наиболее предпочтительными являются варианты υ_1 и υ_4.

23 Результаты расчета рейтингов

Варианты	Качество	Сервис	Цена	Весовой коэффициент, R_i
υ_1	0,557·0,297	0,123·0,597	0,320·0,303	0,336
υ_2	0,557·0,087	0,123·0,140	0,320·0,573	0,249
υ_3	0,557·0,053	0,123·0,213	0,320·0,078	0,081
υ_4	0,557·0,563	0,123·0,050	0,320·0,046	0,334
Сумма				1,000

Достоинством метода AHP является то, что он наряду с объективными данными (цена, качество и т.п.), может использовать неопределенную и субъективную информацию, применять опыт, проницательность и интуицию.

6 методика принятия проектного решения

В условиях обостряющейся конкурентной борьбы на рынке электронных средств роль оперативного принятия обоснованных решений постоянно возрастает. Руководству предприятий электронного профиля приходится принимать исключительно ответственные решения по разработке главного курса развития предприятия, созданию благоприятного конкурентного положения, выбору новых видов продукции для производства, увеличению доли рынка и т.д.

При выборе методов, используемых для принятия решения, необходимо в первую очередь учитывать условия и фазы жизненного цикла проекта. В табл. 24 даны общие рекомендации по выбору методов в зависимости от этих факторов.

24 Рекомендации по выбору методов, используемых для приятия решения

Укрупне	Условия принятия решений

ненные этапы ЖЦ проекта	Полная неопределенность	Неопределенность	Частичная неопределенность	Определенность
Концепция	Методы экспертных оценок. Теория игр	Методы экспертных оценок. Теория игр	Байесовские методы	Анализ иерархии
Планирование	–	Методы Гурвица, Сэвиджа, теория игр	Байесовские методы, теория игр	Анализ иерархии
Проектирование	–	Методы Гурвица, Сэвиджа, теория игр	Байесовские методы, теория игр	Методы исследования операций
Производство	–	–	Методы математической статистики	Методы математического программирования

В рассматриваемой методике используются следующие положения:

1) принятие решений производится на каждой фазе выполнения проекта;

2) наибольшее число альтернативных вариантов анализируется на начальных фазах проекта (концепция, планирование);

3) состав группы альтернативных вариантов после завершения очередной фазы может изменяться;

4) для каждой фазы жизненного цикла проекта характерны свои признаки генерации вариантов;

5) для принятия решения предпочтительно использовать результаты применения комбинации различных методов.

Эффективность принимаемых решений в основном определяется тремя факторами:

– правильной постановкой задачи исследования, т.е. определением модели задачи;

– выбором наиболее эффективного метода ее решения (или группы методов);

– использованием компьютерных технологий для оперативной обработки данных.

Принятие проектных решений включает следующие этапы:

1) формирование множества альтернативных вариантов $\mathcal{V}_0 = \{\upsilon_1, \ldots, \upsilon_n\}$;

2) определение задания для экспертизы, т.е. что требуется получить υ^*, $\mathcal{V}_0$ или r;

3) задание целевой функции;

4) формирование экспертной группы;

5) выбор метода проведения экспертизы;

6) работа группы экспертов;

7) математическая обработка результатов экспертизы;

8) принятие решения по результатам экспертизы;

9) выделение вариантов для окончательного принятия решения;

10) формирование множества ситуаций;

11) определение показателей эффективности вариантов в различных ситуациях;

12) расчет оптимального варианта методами принятия решений в условиях неопределенности.

Учитывая особенности задач проектирования и возможности использования компьютерных технологий, наибольшее применение находят следующие методы:

–экспертных оценок (ЭО), в частности ранжирования вариантов (ЭОР) и парных сравнений (ЭО ПС);

–теории игр, в частности максимина или минимакса (ММ);

–Байеса-Лапласа (Б.Л) и его частный случай – метод равной вероятности (РВ);

–Гурвица (Г);

–Шанявского (Ш);

–минимизации последствий ошибочного решения Сэвиджа (С).

В зависимости от важности исследуемой проблемы, повторяемости решения задач, наличия информации о вероятностях ситуаций в табл. 25 приведены рекомендации по применению различных групп методов.

Для обработки статистических данных также используется многочисленная группа методов, в частности, регрессионный анализ (РА), корреляционный анализ (КА), дисперсионный анализ (ДА), диаграмма рассеяния (ДР), проверки статистических гипотез (ПСГ) и др. Каждый из этих методов имеет свои разновидности. Например, в методе РА выделяют случаи линейный и нелинейный РА, одномерный и многомерный РА. Метод ДА подразделяется на однофакторный, двухфакторный, трехфакторный и т.д.

25 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП МЕТОДОВ

Важность проблемы	Вероятности ситуаций	**Повторяемость задач**	
		однократные	многократные
Высокая	$p(s)$ известны	ЭОПС, ММ, Ш	ЭОПС, Б.Л, Ш
	неизвестны	ЭОПС, ММ, Ш	ЭОПС, Ш, ММ
Средняя	$p(s)$ известны	ЭОПС, Б.Л, ММ, С	ЭОР, Б.Л, Г
	неизвестны	ЭОПС, С, ММ, Ш	ЭОР, РВ, Г, Ш
Низкая	$p(s)$ известны	ЭОР, Б.Л, ММ, С	ЭОР, Б.Л, Г
	неизвестны	ЭОР, Ш, РВ, Г, С	ЭОР, РВ, Г

Каждый метод эффективен для решения определенной группы задач. Так, при анализе существенности влияния факторов на выходной показатель при большом числе факторов и значительном изменении критерия q удобно использовать метод диаграмм рассеяния, если же число факторов невелико и колебания q незначительны, то эффективнее метод ДА.

При решении идентификации моделей важное значение имеет точность определения значений входных переменных X. Если ошибками в определении X можно пренебречь, то можно использовать методы РА, если же значения X рассматриваются как случайные величины, то применяются методы КА.

Методы ПСГ используются в различных задачах, связанных с анализом случайных величин (идентификация закона распределения случайной величины, проверка существенности различий между параметрами распределения), построением доверительных интервалов, оценки степени согласованности мнений экспертов и др.

В качестве примера использования методики рассмотрим задачу по отбору лучшего варианта усовершенствования системы связи.

Задача формируется следующим образом. Для улучшения технических характеристик системы связи выделяется 500 тыс. р. В целях повышения эффективности и конкурентоспособности системы специалистами предлагается проведение работ по направлениям, приведенным в табл. 26.

26 Перспективные направления проведения работ

Наименование работ	Условное обозначение	Требуемый объем финансирования, тыс. р.
Повышение помехозащищенности	ПЗ	400
Увеличение мощности передатчика	Пер.	200
Повышение чувствительности приемника	Пр.	200
Уменьшение веса и габаритов	ВГ	300
Улучшение алгоритма управления	У	100
Повышение надежности	Н	500

Для разработки частных проектных заданий требуется принять решение, какие работы по модернизации системы связи следует выделить для финансирования, так как проведение работ по всем направлениям не представляется возможным ввиду ограниченности ресурсов. Вместе с тем желательно получить информацию о предпочтительности работ для случая получения дополнительных средств на модернизацию.

Множество $\mathcal{V}_{\text{о}}$ альтернативных вариантов работ $\upsilon_i, i = 1, 2, \ldots, n$ формируется с учетом выполнения условия

$$C(\upsilon_i) - \Delta C_{\text{доп},i} \le 500\,,$$

здесь $C(\upsilon_i)$ – требуемое финансирование работ i-го варианта; $\Delta C_{\text{доп},i}$ – допустимое недофинансирование работ i-го варианта.

Предлагается восемь альтернативных вариантов

$$\upsilon_1 = \text{Пер} + \text{Пр} + \text{У};\ \upsilon_2 = \text{Пер} + \text{ВГ};\ \upsilon_3 = \text{Пр} + \text{ВГ};$$

$$\upsilon_4 = Пз + У; \qquad \upsilon_5 = Н; \qquad \upsilon_6 = У + Н(с);$$

$$\upsilon_7 = Пер + Пз(с); \quad \upsilon_8 = Пр + Пз(с),$$

т.е. $$\upsilon = \{\upsilon_1, ..., \upsilon_8\},$$

здесь Н(с) – сокращенный на 20 % проект повышения надежности, Пз(с) – сокращенный на 25 % проект повышения помехозащищенности.

Подробно и оперативно рассмотреть все восемь вариантов не представляется возможным. В результате работы экспертов необходимо выбрать 2 – 3 предпочтительных варианта для более детального их анализа и оценить рейтинги всех вариантов.

В качестве целевой функции используется словесная формулировка Ц, данная ЛПР и уточненная в диалоге с экспертами. Кратко цель сводится к оптимальному использованию средств для повышения эффективности и конкурентоспособности системы связи.

Для экспертизы привлекаются три эксперта ($m = 3$), не являющихся непосредственными участниками работ, приведенных в табл. 26. Экспертам предоставляется возможность ознакомиться с техническими данными прототипа системы связи и предполагаемыми способами улучшения показателей.

В качестве рабочего метода предлагается использовать метод ранжирования вариантов. Таким образом, решается задача $\langle (V_0\ , r), Ц, 1, ЛПР + ЭК \rangle$.

$\mathcal{V}_o$

Результаты первоначального ранжирования вариантов экспертами представлены в табл. 27.

27 Результаты первоначального ранжирования вариантов экспертами

Эксперты	Варианты							
	υ_1	υ_2	υ_3	υ_4	υ_5	υ_6	υ_7	υ_8
1	1	3	3	2	4	5	6	6
2	2	4	4	1	3	5	5	6
3	1	3	3	2	2	-	-	-

Нормированные ранги и подготовительные расчеты приведены в табл. 28.

28 Нормированные ранги и подготовительные расчеты

Эксперты	Варианты								Значения $T(j)$
	υ_1	υ_1	υ_1	υ_1	υ_1	υ_1	υ_1	υ_1	
1	1	3,5	3,5	2	5	6	7,5	7,5	1
2	2	4,5	4,5	1	3	6,5	6,5	8	1
3	1	4,5	4,5	2,5	2,5	7	7	7	3
$xs(i)$	4	12,5	12,5	5,5	10,5	19,5	21	22,5	

$(xs(i)-3\cdot 9/2)$	-9,5	-1	-1	-8	-3	6	7,5	9	
$(xs(i)-13{,}5)^2$	90,25	1	1	64	9	36	56,25	81	

По результатам табл. 28 рассчитывается коэффициент конкордации W по формуле

$$W=\frac{\sum_{i=1}^{8} xs(i)-13{,}5)^2}{\frac{1}{12}3^2\cdot 8(8^2-1)-3\cdot 5}=0{,}933\,.$$

Полученный коэффициент конкордации близок к единице, проверка его значимости по критерию Пирсона («Хи – квадрат») показывает

$$\hat{\chi}^2=m(n-1)W=19{,}58>\chi^2_{\text{т}}(\alpha=0{,}05;\nu=7)=14{,}07,$$

т.е. мнения экспертов согласованы.

Рейтинги вариантов соответственно равны

$$R(1)=\frac{1}{3}\left(\sum_{j=1}^{3}\frac{1}{x(j,1)}\right)=\frac{2{,}5}{3}=0{,}83;\qquad R(2)=\frac{1}{3}\left(\frac{1}{3{,}5}+\frac{2}{4{,}5}\right)=0{,}24;$$

$$R(3)=\frac{1}{3}\left(\frac{1}{3{,}5}+\frac{2}{4{,}5}\right)=0{,}24;\qquad R(4)=\frac{1}{3}\left(1+0{,}5+\frac{1}{2{,}5}\right)=0{,}63;$$

$$R(5)=\frac{1}{3}\left(\frac{1}{5}+\frac{1}{3}+\frac{1}{2{,}5}\right)=0{,}31;\quad R(6)=\frac{1}{3}\left(\frac{1}{6}+\frac{1}{6{,}5}+\frac{1}{5}\right)=0{,}15;$$

$$R(7)=\frac{1}{3}\left(\frac{1}{7{,}5}+\frac{1}{6{,}5}+\frac{1}{7}\right)=0{,}14;\qquad R(8)=\frac{1}{3}\left(\frac{1}{7{,}5}+\frac{1}{8}+\frac{1}{7}\right)=0{,}13.$$

Рассматривая ранги в табл. 28 как компоненты векторного критерия, сформулируем подмножество $\mathcal{V}_{\text{о}}^{\text{п}}$ Парето-оптимальных вариантов по методике. Сопоставляя столбец рангов варианта υ_1 с остальными, получаем:

$$\upsilon_1 \succ \upsilon_2,\ \upsilon_1 \succ \upsilon_3,\ \upsilon_1 \sim \upsilon_4,\ \upsilon_1 \succ \upsilon_5,\ \upsilon_1 \succ \upsilon_6,\ \upsilon_1 \succ \upsilon_7,\ \upsilon_1 \succ \upsilon_8.$$

т.е., варианты υ_2, υ_3, υ_5, υ_6, υ_7, υ_8 имеют предпочтительный вариант υ_1 и они далее не рассматриваются, а варианты υ_1 и υ_4 образуют подмножество $\mathcal{V}_{\text{о}}^{\text{п}}=\{\upsilon_1,\upsilon_4\}$.

Для дальнейшего рассмотрения оставляется подмножество из трех вариантов $\mathcal{V}_{\text{о}}=\{\upsilon_1,\upsilon_4,\upsilon_5\}$. Это подмножество включает варианты, содержащиеся в $\mathcal{V}_{\text{о}}^{\text{п}}$, и вариант υ_5, имеющий достаточно большой рейтинг по данным экспертов. Кроме того, варианты υ_1, υ_4, υ_5 охватывают практически все виды работ, перечисленные в табл. 26.

В качестве возможных ситуаций рассмотрим следующие наиболее характерные для проектных организаций: s_1 – работы по модернизации частей системы связи выполнены в срок и достигнуто планируемое улучшение показателей; s_2 – работы выполнены в срок, но планируемое

улучшение показателей не достигнуто (или достигнуто не для всех модернизируемых частей системы); s_3 **– работы не закончены в срок, отдельные показатели несколько улучшены;** s_4 **– работы в срок не закончены, показатели системы близки к показателям прототипа. Следует заметить, что причинами нарушения сроков выполнения могут быть задержки с финансированием и изменения сроков поставки систем заказчику.**

Количественная оценка общего показателя эффективности работ для каждого варианта в различных ситуациях определяется при следующих допущениях:

1) в качестве частных показателей по отдельным видам работ берется относительное увеличение показателя к значению показателя прототипа, т.е.

$$q_\nu(s) = \frac{\left|k_\nu(s) - \bar{k}_\nu\right|}{\bar{k}_\nu}, \ \nu \in \{\text{Пер}, \text{Пр}, \text{У}, \text{Пз}, \text{Н}\},$$

здесь $\bar{k}_\nu$ **– показатель, характеризующий уровень технических параметров соответствующей части для прототипа системы;** $k_\nu(s)$ **– показатель, полученный в условиях ситуации *s*;**

2) максимальные значения $k_\upsilon(s)$ **соответствуют ситуации** s_1**; значения** $k_\upsilon(s)$ **для других ситуаций находятся в интервале** $\left[\bar{k}_\upsilon; k_\upsilon(s_1)\right]$**;**

3) для возможности сопоставления вариантов, отражающих работы по модернизации различных частей системы, общий показатель *e* определяет насколько повышается эффективность выполняемых системой задач, при этом основными составляющими являются увеличение дальности, повышения помехозащищенности, быстродействия и надежности.

При данных предложениях значение эффективности *i*-го варианта в состоянии *s* можно оценить по формуле

$$e(\upsilon_i, s) = \prod_{\upsilon \in \omega_i} q_\upsilon(s),$$

здесь ω_i **– множество частей системы связи, охватываемых вариантом** υ_i**, например,** $\omega_1 = \{\text{Пер}, \text{Пр}, \text{У}\}$ **и т.д.**

Принимая для системы прототипа значения $q_\upsilon, \upsilon \in \{\text{Пер,Пр,У,Пз,Н}\}$ **равными единице определяются значения** $q_\upsilon(s_1)$**, т.е.**

$$q_{\text{Пер}}(s_1) = 1{,}2; \ q_{\text{Пр}}(s_1) = 1{,}1; \ q_{\text{У}}(s_1) = 1{,}2; \ q_{\text{Пз}}(s_1) = 1{,}25; \ q_{\text{Н}}(s_1) = 1{,}3.$$

При определении $q_\upsilon(s_1)$ **учитывались технический уровень прототипа и потенциальные возможности лучших систем аналогов. Рассчитанные значения** $e(\upsilon_i, s_1),\ i \in \{1; 4; 5\},$ **заносятся в табл. 29. Там же приведены значения** $e(\upsilon_i, s_j)$ **для других ситуаций.**

Учитывая ограниченные возможности каждого из методов для принятия окончательного решения обработку результатов целесообразно производить несколькими методами, не требующи-

ми знания точных значений вероятностей ситуаций. Следует заметить, что вероятности ситуаций в данном случае для разных вариантов могут существенно различаться.

29 Анализ вариантов $\upsilon_i, i \in \{1; 4; 5\}$

Варианты	Ситуации				Значения критериев				
	s_1	s	s_3	s_4	ММ $\min_j e_{ij}$	РВ	Г	Ш c=0,5	С
υ_1(Пер+Пр+У)	1,584	1,27	1,1	1,05	1,05	1,251	1,317*	1,1505	0,1
υ_4(Пз+У)	1,5	1,24	1,2	1,1	1,1	1,26*	1,3	1,18*	0,034*
υ_5(Н)	1,3	1,25	1,2	1,12	1,12*	1,2175	1,21	1,1688	0,284

Вспомогательная матрица ошибочных решений для метода Сэвиджа имеет вид:

υ_1	0	0	0,1	0,07
υ_2	0,034	0,03	0	0,02
υ_3	0,284	0,02	0	0

Расчеты выполненные методами: минимакса (ММ), равной вероятности (РВ), Гурвица (Г), по критерию Шанявского (Ш) с весовым коэффициентом $c = 0{,}5$ и Сэвиджа (С). Представлены в правой части в табл. 29. По этим результатам видно, что по методу минимакса следует отдать предпочтение варианту $\upsilon_5(\text{Н})$, по методу Гурвица – варианту $\upsilon_1(\text{Пер}+\text{Пр}+\text{У})$, а три метода – равной вероятности, Шанявского и Сэвиджа указывают, что оптимальным вариантом является $\upsilon_4(\text{Пз}+\text{У})$, предусматривающему выполнять работы по повышению помехозащищенности и совершенствованию алгоритма управления.

Рассмотренный пример показывает, что принятие решений связано с большим объемом вычислений и для оперативного их выполнения требуется компьютерная поддержка. В последние годы на рынке программных продуктов появились инструментальные средства поддержки принятия проектных решений.

В приложении даются краткие сведения о программном продукте, разработанном кафедрой КРЭМС Тамбовского государственного технического университета, который может использоваться при выполнения курсовых и дипломных проектов.

ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1 Арчибальд Р. Управление высокотехнологичными программами и проектами / Пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2002. 464 с.

2 Чейз Р. Б., Эквилайн Н. Дж., Якобс Р. Ф. Производственный и операционный менеджмент: Пер. с англ. М.: Изд. Дом «Вильямс», 2001. 704 с.

3 7 нот менеджмента. 5-е изд., доп. М.: ЗАО «Журнал Эксперт», ООО «Издательство ЭКСМО», 2002.

4 Петров В. Н. Информационные системы. СПб.: Питер, 2003. 688 с.

5 Информационные технологии управления: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Г. А. Титоренко. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 439 с.

6 Таха Хэмди А. Введение в исследование операций / Пер. с анг. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. 912 с.

7 Кэмпбел Д., Стоунхаус Дж., Хьюстон Б. Стратегический менеджмент: Учебник / Пер. с англ. Н. И. Алмазовой. М.: ООО «Издательство проспект», 2003. 336 с.

8 Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Экспертные оценки. М.: Наука, 1973. 160 с.

9 Информатика (методы экспертных оценок, ранговая корреляция, конкордация, многокритериальная оптимизация): Метод. указ. / Сост. Ю. Л. Муромцев, Л. П. Орлова, Д. Ю. Муромцев. Тамбов: ТГТУ, 1998. 63 с.

10 Мищенко С. В., Муромцев Ю. Л., Чернышов В. Н. Информационные технологии для принятия обоснованных решений в юридической деятельности. Ч. 1. Основы стратегии. Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 1998. 18 с.

11 Лысенко К. В., Муромцев Ю. Л. Инженерный эксперимент и системный анализ при моделировании процессов химической технологии: Учеб. пособие. М.: МИХМ, 1983. 80 с.

12 Ланге О. Оптимальные решения. М.: Прогресс, 1967. 286 с.

13 Информационные ресурсы для принятия решений: Учеб. пособие / А. П. Веревченко, В. В. Горчаков, И. В. Иванов, О. В. Голодова. М.: Академический проспект; Екатеринбург: Деловая книга, 2002. 560 с.

14 Дубров А. М., Лагоша Б. А., Хрусталев Е. Ю. Моделирование рисковых ситуаций в экономике и бизнесе: Учеб. пособие / Под ред. Б. А. Лагоши. М.: Финансы и статистика, 1999. 176 с.

Дополнительная

15 Айзерман М. А., Алескеров Ф. Т. Выбор вариантов: основы теории. М.: Наука, 1990. 240 с.

16 Ногин В. Д., Протодьяконов И. О., Евлампиев И. И. Основы теории оптимизации: Учеб. пособие для студентов вузов. М.: Высш. шк., 1986. 384 с.

17 Коршунов Ю. Н. Математические основы кибернетики / Учеб. пособие для вузов. М.: Энергоатамиздат, 1987. 496 с.

18 Корячко В. П., Курейчик В. М., Норенков И. П. Теоретические основы САПР. М.: Энергоатомиздат, 1987. С. 400.

19 Гэлловей Л. Операционный менеджмент. СПб: Питер, 2002. 320 с.

20 Круглов М. И. Стратегическое управление компанией: Учебник для ВУЗов. М.: Русская Деловая литература, 1988. 768 с.

Глоссарий

Бизнес-процесс – обобщающий термин по отношению к процессам разного типа, в т.ч. технологическим, управленческим, организационно–деловым.

Данные – сведения о состоянии любого объекта – экономического или неэкономического, большой системы или ее элементарной части (элемента), о человеке и машине и т.д., представленные в формализованном виде и предназначенные для обработки (или уже обработанные); сведения, необходимые для какого-нибудь вывода, решения.

Знание – совокупность понятий, представлений о чем-либо, полученных, приобретенных, накопленных в результате учения, опыта, в процессе жизни и т.д. и обычно реализуемых в деятельности.

Команда проекта – группа специалистов, работающих под общим управлением менеджера проекта как из организации, несущей, основную ответственность за проект, так и из сторонних организаций.

Концепция – (лат. conceptio – понимание, система) – определенный способ понимания, трактовки каких-либо явлений, основная точка зрения, руководящая идея для их освещения; ведущий замысел, конструктивный принцип различных видов деятельности; основная мысль, система взглядов на объект проектирования.

Менеджер проекта – координирует деятельность по планированию и исполнению проекта и руководит ею в соответствии с утвержденным календарным планом, стоимостью и техническими задачами.

Метод – это упорядоченная логическая процедура для выполнения определенной задачи.

Методология **– система методов, применяемых в научных исследованиях для обоснования результатов.**

Миссия проекта – его предназначение, т.е. общая цель осуществления проекта и причина его необходимости (миссия от латинского посылка поручение, т.е. ответственное задание роль поручение).

Познания – сумма определенных знаний, сведений в какой-либо области (областях);

Проект – комплекс действий (обычно длительностью менее трех лет), состоящий из взаимосвязанных задач, выполняемых различными организациями, с четко определенными целями, календарным планом и бюджетом.

Сведения – общие или очень неглубокие знания, представления о чем-либо; сведения есть та часть знания, критерий истинности которой не одинаков у различных участников познавательного процесса.

Управление проектом – в широком смысле это профессиональная творческая деятельность, основанная на использовании современных научных знаний, навыков, методов, средств и технологий, и ориентированная на получение эффективных результатов в созидательной деятельности путем успешного осуществления проектов, как целенаправленных изменений.

Факт (factum – сделанное): действительное, невымышленное происшествие, событие, явление, твердо установленное знание, данное в опыте, служащее для какого-либо заключения, вывода, являющееся проверкой кого-либо предположения; действительность, реальность, то, что объективно существует.

Формулировка целей – это расщепление (например, по функциональным блокам) миссии на основные составляющие, которые обеспечивают реализацию стратегии компании.

Центр ответственности – состав лиц по руководству проектом, включающий спонсора проекта (генерального директора), менеджера проекта и функциональных лидеров проекта.

Приложения

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

1П1 Значения $\chi^2_т$ в зависимости от числа степеней свободы ν и уровня значимости α

Число степеней свободы ν	$\chi^2_т$		Число степеней свободы ν	$\chi^2_т/\nu$	
	$\alpha = 0{,}01$	$\alpha = 0{,}05$		$\alpha = 0{,}01$	$\alpha = 0{,}05$
1	6,64	3,84	35	1,64	1,42
2	9,21	5,99	40	1,59	1,39
3	11,35	7,82	45	1,55	1,37
4	13,28	9,49	50	1,52	1,35
5	15,09	11,07	55	1,50	1,33
6	16,81	12,59	60	1,47	1,32
7	18,48	14,07	70	1,43	1,29
8	20,09	15,51	80	1,40	1,27
9	21,67	16,92	90	1,38	1,26

10	23,21	18,31	100	1,36	1,24
11	24,73	19,68	120	1,32	1,22
12	26,23	21,03	140	1,30	1,20
13	27,09	22,36	160	1,28	1,19
14	29,14	23,69	180	1,26	1,18
15	30,58	24,00	200	1,25	1,17
16	32,00	26,30	250	1,22	1,15
17	33,41	27,59	300	1,20	1,14
18	34,81	28,87	350	1,18	1,13
19	36,19	30,14	400	1,17	1,12
20	37,57	31,41	450	1,16	1,11
21	38,93	32,67	500	1,15	1,11
22	40,29	33,92	750	1,12	1,09
23	41,64	35,17	1000	1,11	1,07
24	42,98	36,42	5000	1,05	1,03
25	44,31	37,65	∞	1,00	1,00
26	45,64	38,86			
27	46,96	40,11			
28	48,28	41,34			
29	49,59	42,56			
30	50,89	43,77			

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ИНТЕРФЕЙСНЫЕ ОКНА ПРОГРАММЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

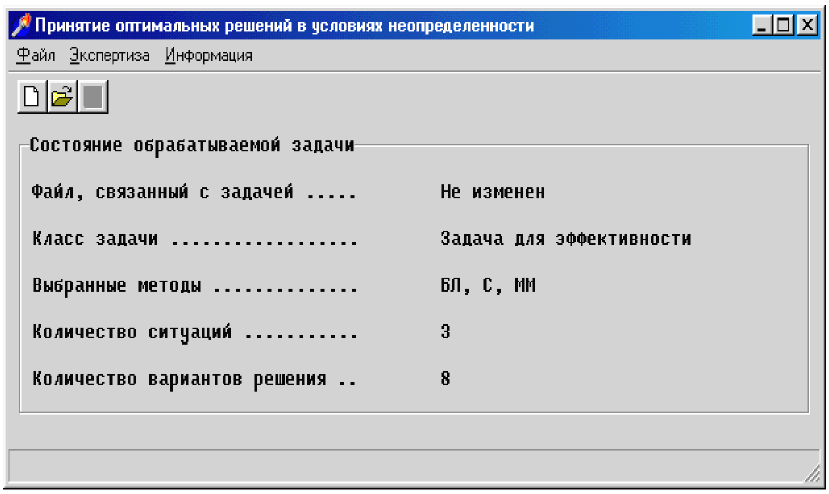
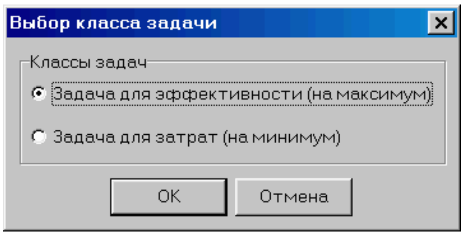


Рис. 1П1 Состояние обрабатываемой задачи



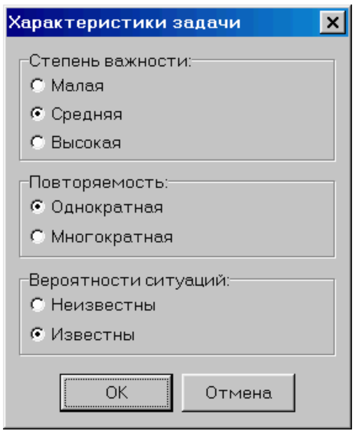


Рис. 2П2 Выбор класса задачи

Рис. 3П2 Задание характеристик задачи

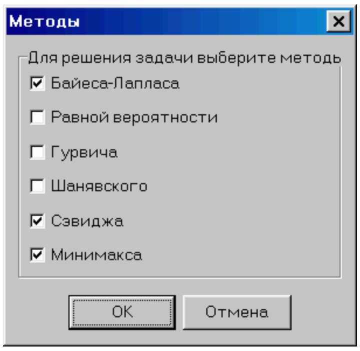
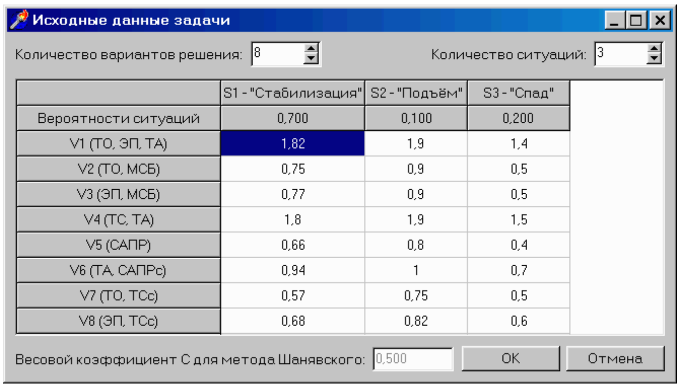


Рис. 4П2 Предложение программы по используемым методам решения

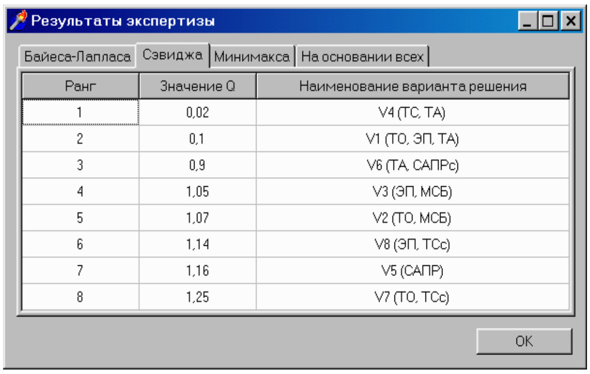


	S1 - "Стабилизация"	S2 - "Подъём"	S3 - "Спад"
Вероятности ситуаций	0,700	0,100	0,200
V1 (ТО, ЭП, ТА)	1,82	1,9	1,4
V2 (ТО, МСБ)	0,75	0,9	0,5
V3 (ЭП, МСБ)	0,77	0,9	0,5
V4 (ТС, ТА)	1,8	1,9	1,5
V5 (САПР)	0,66	0,8	0,4
V6 (ТА, САПРс)	0,94	1	0,7
V7 (ТО, ТСс)	0,57	0,75	0,5
V8 (ЭП, ТСс)	0,68	0,82	0,6

Рис. 5П2 Задание экспертом исходных данных задачи

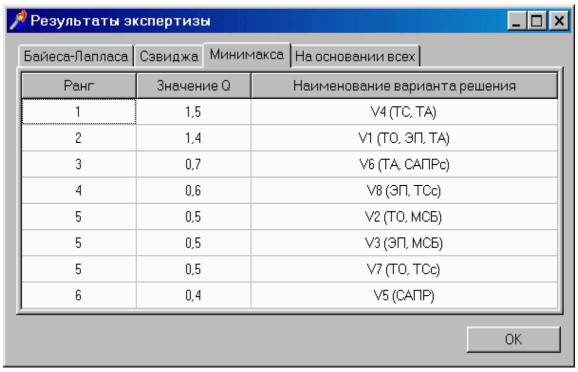
Ранг	Значение Q	Наименование варианта решения
1	1,75	V4 (ТС, ТА)
2	1,744	V1 (ТО, ЭП, ТА)
3	0,898	V6 (ТА, САПРс)
4	0,729	V3 (ЭП, МСБ)
5	0,715	V2 (ТО, МСБ)
6	0,678	V8 (ЭП, ТСс)
7	0,622	V5 (САПР)
8	0,574	V7 (ТО, ТСс)

Рис. 6П2 Результаты решения методом Байеса-Лапласа



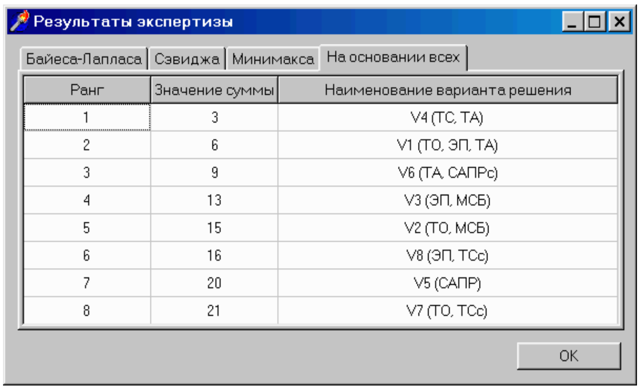
Ранг	Значение Q	Наименование варианта решения
1	0,02	V4 (ТС, ТА)
2	0,1	V1 (ТО, ЭП, ТА)
3	0,9	V6 (ТА, САПРс)
4	1,05	V3 (ЭП, МСБ)
5	1,07	V2 (ТО, МСБ)
6	1,14	V8 (ЭП, ТСс)
7	1,16	V5 (САПР)
8	1,25	V7 (ТО, ТСс)

Рис. 7П2 Результаты решения методом Сэвиджа



Ранг	Значение Q	Наименование варианта решения
1	1,5	V4 (ТС, ТА)
2	1,4	V1 (ТО, ЭП, ТА)
3	0,7	V6 (ТА, САПРс)
4	0,6	V8 (ЭП, ТСс)
5	0,5	V2 (ТО, МСБ)
5	0,5	V3 (ЭП, МСБ)
5	0,5	V7 (ТО, ТСс)
6	0,4	V5 (САПР)

Рис. 8П2 Результаты решения методом минимакса



Ранг	Значение суммы	Наименование варианта решения
1	3	V4 (ТС, ТА)
2	6	V1 (ТО, ЭП, ТА)
3	9	V6 (ТА, САПРс)
4	13	V3 (ЭП, МСБ)
5	15	V2 (ТО, МСБ)
6	16	V8 (ЭП, ТСс)
7	20	V5 (САПР)
8	21	V7 (ТО, ТСс)

Рис. 9П2 Результаты решения на основании всех методов