

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»

На правах рукописи

Борzych Никита Юрьевич

**Модель и алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений
в организационных системах проектного типа**

2.3.4. Управление в организационных системах

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, доцент
Смоленцева Татьяна Евгеньевна

Москва – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРОЕКТНОГО ТИПА	12
1.1. Специфика управления в организационных системах проектного типа .	12
1.2. Многокритериальность как фактор сложности управления проектами ..	21
1.3. Критерии эффективности и методы оценки проектных решений	28
1.4. Анализ существующих подходов к поддержке принятия решений в проектировании	36
1.5. Постановка задачи исследования и обоснование необходимости разработки алгоритма	41
Выводы по Главе 1	44
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО АЛГОРИТМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ДИНАМИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ ВХОДНЫМ НАБОРОМ КРИТЕРИЕВ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРОЕКТНОГО ТИПА.....	47
2.1 Постановка задачи разработки комплексного алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев	47
2.2. Интеграция методов МАИ, PROMETHEE и TOPSIS.....	49
2.2.1. Роль метода МАИ в алгоритме управления входным набором данных	50
2.2.2. Применение метода PROMETHEE в алгоритме анализа множества альтернатив	51
2.2.3. Использование метода TOPSIS в алгоритме анализа множества альтернатив	53
2.2.4. Синергетический эффект от комбинации методов.....	54
2.3 Описание и математическое представление комплексного алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев	55
2.4 Комплексный алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений	75
Выводы по Главе 2	82
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРИ ВЫБОРЕ СТРАТЕГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	84

3.1 Обоснование необходимости математической модели оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования из множества альтернатив.....	84
3.2 Структура математической модели оценки эффективности и качества ...	89
3.2.1 Входные параметры модели.....	90
3.2.2 Процесс обработки данных	92
3.2.3 Выходные параметры модели.....	94
3.3 Интегральный показатель эффективности	96
3.4 Критерии эффективности и их компоненты	104
3.5 Шкалы оценки критериев.....	108
Выводы по Главе 3	113
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ	114
4.1 Обоснование необходимости разработки программных модулей и их место в системе поддержки принятия решений	114
4.2 Программный модуль комплексного многокритериального анализа	116
4.3 Программный модуль оценки эффективности и качества стратегий проектирования	121
4.4 Структура базы данных	124
4.4. Пользовательский интерфейс и функциональные возможности программных модулей.....	128
4.5. Апробация и оценка эффективности разработанных программных модулей.....	132
Выводы по Главе 4.....	139
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	141
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	143
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	144
Приложение	161

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Процесс принятия решений представляет собой фундаментальный аспект различных научных дисциплин, включая экономику, психологию, исследование операций и прикладную математику. Значимость данного процесса особенно возрастает в контексте разработки и имплементации комплексных проектов и систем, где решения, принимаемые на каждом этапе, оказывают непосредственное влияние на результативность и эффективность конечного продукта.

Современные организации сталкиваются с растущими объемами данных и сложностью бизнес-процессов. Это требует автоматизации и интеграции различных систем. Несмотря на технологический прогресс, проблемы в области принятия решений остаются актуальными. По данным Project Management Institute (PMI) 11,4 % инвестиций в проекты нерационально расходуются из-за неэффективного управления и принятия решений, что для крупных проектных организаций может приводить к существенным финансовым издержкам.

Важность эффективного управления проектами и принятия решений подтверждается статистикой. Отчет PMI демонстрирует, что организации с высоким уровнем развития практик проектного управления завершают 77 % проектов в срок, по сравнению с 56 % у организаций с низким уровнем развития практик проектного управления, и выполняют 67 % проектов в рамках бюджета против 46 % у организаций с недостаточно оптимизированными методологиями управления. Исследование показывает, что оптимизация механизмов принятия решений и управления проектами может значительно повысить эффективность реализации проектов.

Однако достижение такой эффективности требует учета специфики различных типов организаций, так как каждый из них имеет свои особенности в процессе принятия решений. Различные типы организаций имеют свои приоритеты:

ИТ-компании: технические аспекты, производительность, масштабируемость, безопасность;

исследовательские организации: инновации, научная новизна, коммерциализация;

компании-заказчики: соответствие бизнес-требованиям, ROI, интеграция;

проектные организации: баланс между техническими, бизнес-целями, сроками, бюджетом и качеством;

смешанные организации: гибкое комбинирование подходов.

Проектные организации сталкиваются с наиболее многогранным процессом принятия решений, требующим учета множества факторов.

Особую актуальность проблема оптимизации выбора стратегии проектирования имеет для проектных организаций, разрабатывающих программно-аппаратные комплексы в том числе для МЧС России, где ошибки в выборе стратегии проектирования могут привести к критическим последствиям при ликвидации чрезвычайных ситуаций. К таким системам могут относиться относятся:

автоматизированные системы оперативного управления;

системы мониторинга и прогнозирования ЧС;

комплексы поддержки принятия решений для аварийно-спасательных формирований;

интегрированные системы безопасности объектов и т.д.

В этих системах критически важны повышенная надежность, строгое соответствие нормативным требованиям и эффективное использование ресурсов.

В диссертационном исследовании особое внимание уделяется проектно-ориентированным организациям, что обусловлено их регулярным вовлечением в процессы решения комплексных задач выбора из множества альтернатив, требующих принятия стратегически значимых решений. Эффективность функционирования проектных организаций находится в

прямой зависимости от их способности эффективно управлять множеством разнородных критериев и согласовывать интересы различных заинтересованных сторон.

Система поддержки принятия решений (СППР) автоматизирует процесс выбора оптимальных решений [1].

Она учитывает множество критериев и предпочтений лиц, принимающих решения (ЛПР). При выборе из множества альтернатив применяются различные методы. Каждый метод имеет свои преимущества и области применения.

Несмотря на широкое применение, существующие методы и алгоритмы многокритериальной оптимизации зачастую демонстрируют ограниченную эффективность при обработке значительного количества критериев (более 15-20) и в условиях неопределенности данных, особенно в динамичной среде проектных организаций. Данные ограничения приводят к снижению качества принимаемых решений, повышению ресурсозатратности и временных издержек на анализ альтернатив, а также к потенциальным ошибкам в селекции стратегий проектирования.

В связи с этим актуальной задачей является разработка новых алгоритмов поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев в проектных организациях, которые обеспечат минимизацию затрат ресурсов, сокращение времени и максимизацию качества при разработке и внедрении сложных проектов и систем.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью повышения качества и эффективности принятия решений в условиях наличия множества альтернативных стратегий при разработке проектов в проектных организациях, что в свою очередь способствует успешной реализации проектов и достижению стратегических целей организации.

Степень разработанности темы исследования.

Исследованием методов и алгоритмов поддержки принятия решений по многокритериальному выбору занимались В. В. Подиновский, Д.А. Новиков,

А.А. Лобанов, Д.С. Набатова и другие. Их работы внесли значительный вклад в развитие теории, но не предлагают комплексного подхода к управлению входным набором критериев в контексте проектных организаций.

Следует отметить, что большинство исследователей подчеркивают важность ответственности ЛПР за принятые решения и центральную роль ЛПР при вынесении коллективных решений. А.В. Калач исследовал применение изменений в ИТ-структуру организаций. Работы авторов показывают, что выбор стратегии проектирования должен учитывать влияние на всю ИТ-инфраструктуру и бизнес-процессы, что актуально для многокритериального анализа в проектных организациях.

Следует отметить, что Ю.В. Бугаев предложил методы многокритериального анализа для выбора оптимальных стратегий из большого числа альтернатив, учитывающие мнения различных экспертов. Подход исследователей, основанный на принципе максимального правдоподобия, применим к задачам проектных организаций с множеством критериев и альтернатив.

Вклад в развитие методов анализа и оптимизации организационных и информационных систем внес М.В. Буйневич. В его работах предложены подходы к моделированию структур организационных систем на основе сетевых моделей, методы интеграции гетерогенных данных в распределенных системах, а также методология оптимизации взаимодействия пользователей с информационными системами.

Исследования выполнялись в рамках Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года (утверждена Указом Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации"), в части реализации основной задачи по стимулированию внедрения технологий искусственного интеллекта, включающих интеллектуальную поддержку принятия решений, в отраслях экономики и социальной сферы.

Цель исследования – повышение эффективности и качества принятия управленческих решений в организационных системах проектного типа на основе разработки алгоритмических и научно-методических средств интеллектуальной поддержки.

Объект исследования – механизм принятия решений в организационных системах проектного типа.

Предмет исследования – средства интеллектуальной поддержки.

Задачи исследования:

Выполнить анализ возможностей существующих методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия решений в организационных системах проектного типа, выявить их ограничения и определить направления совершенствования.

Создать комплексный алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев в организационных системах проектного типа, адаптивно учитывающий изменяющиеся условия проектной среды и предпочтения заинтересованных сторон.

Разработать математическую модель оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования, учитывающую многокритериальность и осуществляющую количественную оценку качественных параметров.

Разработать программные модули поддержки принятия решений при выборе оптимальных стратегий проектирования в организационных системах, реализующие предложенные алгоритм и модель через систему взаимосвязанных компонентов.

Методы исследования. В диссертации использовались методы системного анализа (анализ бизнес-процессов, структурный анализ), методы многокритериальной оптимизации (МАИ, ПРОМЭТРИ, TOPSIS), экспертные методы (анкетирование, интервьюирование, метод Делфи), а также функциональное и имитационное моделирование.

Научная новизна.

Комплексный алгоритм, в отличие от существующих подходов, адаптивно учитывает изменяющиеся условия проектной среды и предпочтения заинтересованных сторон.

Математическая модель отличается комплексным учетом многокритериальности проектных решений и количественной оценкой качественных параметров.

Программные модули, отличающиеся интеграцией оригинальных (авторских) алгоритма и модели.

Теоретическая значимость работы.

Установлены закономерности динамического управления входным набором критериев при многокритериальном выборе стратегий в условиях неопределенности.

Установлены зависимости между финансовыми, временными и качественными параметрами стратегий проектирования.

Определены принципы построения программных модулей, интегрирующих различные методы многокритериального анализа и машинного обучения для поддержки принятия решений в организационных системах проектного типа.

Практическая значимость работы.

Разработанный комплексный алгоритм повышает обоснованность выбора оптимальной стратегии проектирования и сокращает время принятия решений при многокритериальном анализе альтернатив за счет динамического управления входным набором критериев.

Применение разработанной математической модели повышает точность анализа проектных решений и минимизирует затраты на разработку проектов за счет комплексного учета взаимосвязей между критериями и адаптации к изменяющимся условиям проектной среды.

Разработанные программные модули ускоряют процесс анализа альтернативных стратегий и повышают точность принимаемых решений за счет накопления и использования исторических данных.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Содержание диссертации соответствует п.2. разработка математических моделей и критериев эффективности, качества и надёжности организационных систем. п.4. разработка информационного и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в организационных системах. п.9. разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в организационных системах.

Публикации по материалам диссертации опубликовано 15 научных работ (9 статей, 4 материалов научных конференций, 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ), 7 из которых опубликованы в научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 1 – в сборнике индексируемом SCOPUS, в том числе 7 работ опубликованные без соавторов.

Положения, выносимые на защиту:

1) Комплексный алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев в организационных системах проектного типа.

2) Математическая модель оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования.

3) Программные модули поддержки принятия решений при выборе оптимальных стратегий проектирования в организационных системах.

Апробация работы и публикации. Результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на конференциях и семинарах: «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики», Воронеж, 12-14 декабря 2022 года; «Актуальные проблемы прикладной

математики, информатики и механики», Воронеж, 4-6 декабря 2023 года; Международная конференция «Technology Enhanced Learning in Higher Education» (TELE2024), Липецк, 20-21 июня 2024 г.; Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и практические решения в науке», Москва, 30 июля 2024 года.

Степень достоверности основных полученных результатов обеспечивается надежными исходными данными, адекватностью выбранного математического аппарата и корректностью применения указанных методов исследования. Достоверность подтверждается апробацией и внедрением полученных результатов в практику работы производственных и проектных организаций

Внедрение результатов исследования. Основные положения диссертационного исследования внедрены в практическую деятельность предприятия АО «Можайское экспериментальное-механическое предприятие», на площадке ООО «Центр интеграции приложений» проведена верификация разработанной модели, что привело к повышению эффективности проектирования и оптимизации затрат.

Личный вклад соискателя. Автором разработан комплексный алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев в организационных системах проектного типа [11, 16]. Создана математическая модель оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования [20]. Разработаны программные модули поддержки принятия решений при выборе оптимальных стратегий проектирования в организационных системах [21]. Проведен анализ оптимизации выбора из множества альтернатив и выявлены их ограничения.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРОЕКТНОГО ТИПА

1.1. Специфика управления в организационных системах проектного типа

Организационные системы проектного типа, также известные как проектные организации, представляют собой особую форму организационной структуры, ориентированную на реализацию проектов как основной формы деятельности [83].

В контексте современной теории управления, проект определяется как временное предприятие, направленное на создание уникального продукта, услуги или результата. Проектные организации отличаются от традиционных функциональных структур тем, что их деятельность носит преимущественно инновационный характер, а ресурсы и персонал группируются вокруг конкретных проектов, а не функциональных подразделений [83].

Ключевые характеристики организационных систем проектного типа включают:

1. нацеленность на уникальный результат: проект отличается от остальных рабочих процессов компании временным ограничением и нацеленностью на конкретный результат;
2. создание временных подразделений: проектные команды, которые занимаются решением конкретной крупной задачи — проекта;
3. высокий уровень гибкости и адаптивности: проектная структура управления может легко принимать изменения и подстраиваться под изменения внутренней и внешней среды компании;
4. междисциплинарный подход: интеграция специалистов различных профилей для решения комплексных задач;

5. матричная или проектная организационная структура: сочетание вертикальных (функциональных) и горизонтальных (проектных) связей;

6. вовлечённость сотрудников: при проектной структуре управления сотрудники не фокусируются исключительно на своём участке работы, а глубоко проникают в комплексную задачу компании на всех этапах её решения.

Исследования в области теории организации и управления проектами показывают, что проектные организации эффективнее в условиях высокой неопределенности и при необходимости быстрой адаптации к изменяющимся требованиям рынка [128].

Управление проектными организациями существенно отличается от управления традиционными функциональными или линейными структурами [133].

Такие различия обусловлены уникальной природой проектной деятельности и требуют специфических подходов к планированию, организации, мотивации и контролю. Рассмотрим основные особенности управления проектными организациями:

Динамичность организационной структуры. В отличие от стабильных функциональных структур, проектные организации характеризуются постоянно меняющейся конфигурацией проектных команд [136].

Что требует гибких механизмов управления персоналом, распределения ресурсов и координации деятельности.

Фокус на управлении временем. Временные ограничения проектов делают критически важным эффективное управление сроками [129].

Методы сетевого планирования, такие как метод критического пути (СРМ) и метод оценки и анализа программ (PERT), становятся неотъемлемой частью управленческого инструментария.

Управление рисками и неопределенностью. Уникальность каждого проекта повышает уровень неопределенности и рисков. Что требует развитых

систем риск-менеджмента и способности принимать решения в условиях ограниченной информации.

Балансирование интересов проекта и организации. Менеджеры проектов должны учитывать, как специфические цели отдельных проектов, так и стратегические интересы организации в целом, что часто приводит к необходимости решения сложных оптимизационных задач.

Управление знаниями и компетенциями. Проектные организации сталкиваются с проблемой сохранения и передачи знаний между проектами [120, 121].

Эффективное управление знаниями становится критическим фактором успеха.

Мультипроектное управление. Руководство проектной организации должно обеспечивать эффективное распределение ресурсов и координацию между множеством одновременно выполняемых проектов.

Изменение системы мотивации. Вознаграждение сотрудников организации увязывается с эффективностью выполнения проектов и готовностью к их реализации.

Для наглядного сравнения особенностей управления в проектных организациях и традиционных функциональных структурах представим Таблицу 1.

Для лучшего понимания специфики управления в проектных организациях рассмотрим типичную организационную структуру проекта по проектированию и внедрению, изображенную на Рисунке 1.

Таблица 1 – Сравнение особенностей управления в проектных и функциональных организациях

Характеристика	Проектная организация	Функциональная организация
Организационная структура	Гибкая, матричная или проектная	Стабильная, иерархическая
Фокус управления	На достижении целей проекта	На выполнении функциональных обязанностей
Распределение ресурсов	Динамическое, основанное на приоритетах проектов	Фиксированное по подразделениям
Система контроля	Ориентирована на результаты проекта	Ориентирована на соблюдение процедур
Стиль руководства	Адаптивный, ситуационный	Формализованный и стабильный
Управление персоналом	Временные команды, гибкое распределение ролей	Постоянный состав, четкое разделение обязанностей
Принятие решений	Децентрализованное, на уровне проектных команд	Централизованное, на уровне руководства функциональных подразделений



Рисунок 1 – Организационная структура проекта разработки и внедрения

Руководитель проекта. Центральная фигура, ответственная за общее управление проектом. Руководитель проекта координирует работу всех команд, управляет ресурсами, контролирует сроки и бюджет, а также является основным связующим звеном между всеми участниками проекта. Он принимает ключевые решения и несет ответственность за достижение целей проекта.

Заказчик. Представляет интересы организации, для которой реализуется проект. Заказчик определяет общие требования к проекту, утверждает ключевые решения и принимает результаты проекта. Эффективное взаимодействие с заказчиком критически важно для успеха проекта.

Стейкхолдеры. Включают в себя все заинтересованные стороны проекта, такие как руководство компании-заказчика, конечные пользователи, регулирующие органы и др. Учет интересов и требований стейкхолдеров необходим для принятия сбалансированных решений.

Команда разработки/проектирования. Отвечает за техническую реализацию проекта. В зависимости от типа проекта, может включать программистов, системных архитекторов, инженеров-проектировщиков и других технических специалистов. Эта команда принимает ключевые технические решения и реализует основной функционал системы.

Команда внедрения. Занимается интеграцией разработанной системы в существующую инфраструктуру заказчика. Команда работает на стыке технических и организационных аспектов, обеспечивая успешное развертывание системы и обучение пользователей.

Команда тестирования и контроля качества. Отвечает за проверку соответствия разработанной системы требованиям заказчика и стандартам качества. Команда играет ключевую роль в выявлении и предотвращении потенциальных проблем на всех этапах проекта.

Команда поддержки и сопровождения. Обеспечивает эффективное функционирование системы после ее внедрения. Команда занимается решением текущих проблем, обновлением системы и предоставлением технической поддержки пользователям.

Данная организационная структура создает сложную сеть взаимодействий и потоков информации, что существенно влияет на процесс принятия решений. Каждая роль и команда имеет свои специфические задачи и области ответственности, но при этом требуется постоянная координация и согласование действий между всеми участниками проекта [4]. Особенность

проектных организаций создает дополнительные вызовы в управлении и требует специфических подходов к принятию решений.

Несмотря на ряд преимуществ, проектные организации сталкиваются с существенными проблемами и вызовами в области управления. Понимание указанных проблем критически важно для разработки эффективных методов поддержки принятия решений [5]. Рассмотрим основные вызовы:

Сложность координации и интеграции. Наличие множества параллельно выполняемых проектов создает проблемы координации и интеграции усилий. Исследования показывают, что до 30% ресурсов проектных организаций может тратиться на преодоление проблем, связанных с недостаточной координацией [137].

Конфликт ресурсов. Ограниченность ресурсов при множестве одновременно выполняемых проектов часто приводит к конфликтам. Согласно статистике Project Management Institute, около 54% проектов испытывают проблемы из-за нехватки ресурсов [133].

Управление приоритетами. Определение приоритетов между проектами и внутри них является постоянным вызовом для руководства проектных организаций. Неэффективное управление приоритетами может привести к распылению ресурсов и снижению общей эффективности организации [41].

Отсутствие инструментов для измерения эффективности. Руководители видят только поверхностные результаты, не учитывая глубину процессов и реальное качество достигнутых целей.

Недостаточная подготовка и компетенция сотрудников. Это может привести к затруднениям в понимании и применении методологий проектного управления. По данным исследований, до 70% знаний, полученных в ходе проекта, могут быть потеряны, если не внедрены эффективные системы управления знаниями [120].

Ограничения в инструментах контроля. Руководители не могут контролировать проект комплексно и вынуждены реагировать на уже возникшие сложности.

Управление изменениями. Высокая динамика проектной среды требует эффективных механизмов управления изменениями. Неспособность адаптироваться к изменениям является причиной неудач в 35 % проектов [129].

Сопротивление изменениям. Внедрение проектного управления часто требует изменений в существующих процессах и структурах организации, но сопротивление со стороны сотрудников или отделов может затормозить процесс.

Сложность принятия решений. Многокритериальность и высокая степень неопределенности в проектной деятельности создают существенные трудности в процессе принятия решений. Для приведенных трудностей требуется разработка специализированных методов поддержки принятия решений, учитывающих специфику проектных организаций.

Для анализа проблем управления в проектных организациях рассмотрим их влияние на различные аспекты проектной деятельности (Таблица 2).

Анализ таблицы 2 показывает, что проблемы управления в проектных организациях оказывают комплексное влияние на все аспекты проектной деятельности. Особенно сильное влияние наблюдается в областях, связанных со сроками, бюджетом и рисками проектов. Вышеуказанное подчеркивает необходимость разработки интегрированных подходов к управлению, способных учитывать взаимосвязи между различными аспектами проектной деятельности.

Таблица 2 – Влияние ключевых проблем на проектную деятельность

Проблема	Влияние на сроки	Влияние на бюджет	Влияние на качество	Влияние на риски
Сложность координации	Высокое	Среднее	Высокое	Высокое
Конфликт ресурсов	Высокое	Высокое	Среднее	Среднее
Управление приоритетами	Высокое	Высокое	Среднее	Высокое
Сложность оценки и контроля	Среднее	Высокое	Высокое	Высокое
Управление знаниями	Среднее	Низкое	Высокое	Среднее
Баланс стандартизации и гибкости	Низкое	Среднее	Высокое	Среднее
Управление изменениями	Высокое	Высокое	Среднее	Высокое
Мотивация персонала	Среднее	Низкое	Высокое	Низкое
Управление рисками	Высокое	Высокое	Среднее	Высокое
Сложность принятия решений	Высокое	Высокое	Высокое	Высокое

Решение указанных проблем требует комплексного подхода, включающего как организационные меры, так и разработку специализированных алгоритмов и инструментов поддержки принятия решений. Особую роль в этом контексте играют СППР, способные интегрировать различные источники данных, применять сложные аналитические модели и предоставлять руководству проектных организаций обоснованные рекомендации для принятия решений. Концепция СППР, их эволюция и роль в современных организациях подробно рассмотрены в работах [29, 30, 39, 42, 85, 132, 135].

Согласно классическому определению, предложенному Спрагом и Карлсоном, СППР – интерактивные компьютерные системы, которые помогают лицам, принимающим решения, использовать данные и модели для решения слабоструктурированных и неструктурированных проблем [138]. Ключевая особенность СППР заключается в их способности интегрировать данные, аналитические модели и пользовательский интерфейс для поддержки полуструктурированных и неструктурированных решений [3, 72].

Эффективная СППР для проектных организаций должна обладать следующими ключевыми характеристиками [45]:

способность работать с многокритериальными задачами, учитывая сложные взаимосвязи между различными аспектами проектов;

гибкость и адаптивность, позволяющие настраивать систему под специфику конкретных проектов и организаций;

интеграция с существующими системами управления проектами и корпоративными информационными системами;

возможность работы с неполной и нечеткой информацией, характерной для ранних стадий проектов;

поддержка коллективного принятия решений, учитывающая мнения и компетенции различных участников проектной деятельности;

наличие развитых средств визуализации и представления результатов анализа;

способность к обучению и накоплению знаний, позволяющая системе совершенствоваться на основе опыта реализованных проектов.

Разработка СППР, отвечающей указанным требованиям, представляет собой сложную научно-техническую задачу, требующую интеграции методов из различных областей, включая теорию принятия решений, исследование операций, искусственный интеллект и управление проектами. Исследования когнитивных процессов, связанных с принятием решений, и их влияние на разработку СППР представлены в работах [39, 84, 123, 131].

В контексте проектных организаций особую важность приобретает способность СППР учитывать динамический характер проектной среды и адаптироваться к изменениям в процессе реализации проектов. Такой характер требует разработки специальных алгоритмов, способных оперативно корректировать рекомендации на основе поступающей информации о ходе выполнения проектов и изменениях во внешней среде [44].

1.2. Многокритериальность как фактор сложности управления проектами

Многокритериальность является одним из ключевых факторов, определяющих сложность управления современными проектами, особенно в контексте проектных организаций. Многокритериальность реальных задач управления состоит в том, что менеджеру необходимо оптимизировать управляемую им систему сразу по нескольким критериям.

Многокритериальность в проектном управлении возникает из необходимости одновременного учета множества разнородных факторов при принятии решений. Утверждение подтверждается исследованиями в области многокритериального анализа решений [53, 56, 58, 78, 116]. Данная особенность проектной деятельности обусловлена комплексностью проектных задач, разнообразием заинтересованных сторон, многомерностью целей проекта, динамичностью проектной среды, а также неопределенностью и рисками, сопряженными с проектной деятельностью.

Современные проекты, особенно в сфере информационных технологий, инжиниринга и организационных преобразований, характеризуются высокой степенью сложности и взаимозависимости различных элементов. Такая особенность приводит к необходимости учета множества критериев при оценке альтернатив и принятии решений. Критерии могут быть независимыми и зависимыми. Критерии независимы, если оценка альтернативы по одному из них не зависит от оценки по-другому. Зависимыми являются критерии, при использовании которых оценка альтернативы по одному критерию зависит от оценки по-другому.

Большинство проектов преследует несколько целей одновременно, например, технические, экономические, социальные и экологические. Каждая из указанных целей может быть представлена одним или несколькими критериями, что увеличивает общее количество параметров, которые необходимо учитывать при принятии решений. Условия реализации проектов

могут быстро меняться, что приводит к необходимости постоянной переоценки приоритетов и критериев успеха проекта.

Исследования показывают, что количество критериев, которые необходимо учитывать при принятии решений в сложных проектах, может достигать нескольких десятков. Например, в работе С. Греко [127] рассматривается пример проекта по выбору места для строительства аэропорта, где использовалось более 20 критериев, включая экономические, экологические, социальные и технические аспекты. Вопросы правового регулирования и этические аспекты использования систем поддержки принятия решений в организациях рассматриваются в работах [105, 106].

Многокритериальность оказывает существенное влияние на различные аспекты управления проектами, значительно повышая его сложность. Прежде всего, она усложняет процесс принятия решений, делая его более трудоемким и времязатратным. Исследования показывают, что увеличение количества критериев с 5 до 20 может привести к экспоненциальному росту времени, необходимого для анализа альтернатив и принятия решения [122, 128].

Повышение когнитивной нагрузки на ЛПП, является еще одним важным следствием многокритериальности. Человеческий мозг ограничен в способности одновременно обрабатывать большое количество информации. Согласно современным исследованиям в области когнитивной психологии, оптимальное количество объектов, которые человек может эффективно анализировать одновременно, составляет около четырех.

При оценивании весовых коэффициентов важности критериев наиболее эффективным является последовательное применение методов попарных сравнений и попарного оценивания важности критериев.

Трудность принятия решений может возникнуть в том случае, если на выполнение поставленных задач проекта претендуют несколько специалистов, имеющих одинаковые характеристики. В таком случае необходимо ввести решающие критерии, в соответствии с которыми планируется выделить наиболее предпочтительного исполнителя.

Количество критериев должно быть минимальным, но их состав – достаточным для отображения и анализа всех существенных показателей, определяющих результирующее качество альтернатив. При увеличении количества критериев возрастает риск принятия субоптимальных решений из-за неспособности человека эффективно обрабатывать большое количество параметров одновременно.

Для количественной оценки влияния многокритериальности на сложность управления проектами можно использовать различные метрики. Одной из таких метрик является индекс сложности проекта Project Complexity Index (PCI).

Согласно этой модели, сложность проекта может быть выражена как функция от количества элементов проекта (включая критерии оценки) и степени их взаимозависимости:

$$PCI = f(N, I), \quad (1)$$

где N – количество элементов проекта, I – степень их взаимозависимости.

Исследования показывают, что увеличение количества критериев оценки проекта приводит к нелинейному росту индекса сложности. Например, при увеличении количества критериев с 5 до 20, индекс сложности может возрасти в 3-4 раза, в зависимости от степени взаимозависимости критериев.

Для эффективного управления многокритериальностью в проектной деятельности необходимо понимание типичных критериев, используемых при оценке проектных решений. На основе анализа литературы и практики управления проектами можно выделить несколько основных групп критериев: экономические, временные, качественные, технологические, организационные, критерии рисков, социальные и экологические, а также критерии заинтересованных сторон [56, 62, 65, 66].

Экономические критерии включают такие показатели как чистая приведенная стоимость (NPV), внутренняя норма доходности (IRR), срок окупаемости, общая стоимость владения (ТСО) и рентабельность инвестиций

(ROI). Указанные критерии позволяют оценить финансовую эффективность проекта и его влияние на экономические показатели организации.

Временные критерии, такие как продолжительность проекта, время выхода на рынок и скорость реализации отдельных этапов, играют важную роль в оценке эффективности управления проектом и его соответствия рыночным условиям.

Критерии качества, включающие соответствие требованиям и спецификациям, надежность, производительность и удобство использования, позволяют оценить техническое совершенство продукта проекта и его способность удовлетворять потребности пользователей.

Технологические критерии, такие как инновационность решения, технологическая зрелость, совместимость с существующими системами и масштабируемость, оценивают техническую составляющую проекта и его потенциал для дальнейшего развития.

Организационные критерии, включая соответствие стратегическим целям организации, влияние на бизнес-процессы и требования к ресурсам и компетенциям, позволяют оценить, насколько проект соответствует общей стратегии и возможностям организации.

Критерии рисков, охватывающие технические, финансовые, организационные и рыночные риски, помогают оценить потенциальные угрозы для успешной реализации проекта и разработать стратегии управления рисками. Методы анализа и управления рисками в проектной деятельности, а также подходы к принятию решений в условиях неопределенности описаны в работах [117, 118, 125].

Критерии заинтересованных сторон, включающие удовлетворенность заказчика, удовлетворенность конечных пользователей и влияние на репутацию организации, позволяют оценить, насколько проект соответствует ожиданиям различных групп стейкхолдеров. Важно отметить, что конкретный набор критериев может существенно варьироваться в зависимости от специфики проекта, отрасли и организационного контекста.

Например, проведенное исследование [129], показало, что в проектах разработки программного обеспечения наиболее часто используются такие критерии как функциональность и качество продукта, удовлетворенность пользователей, соблюдение сроков и бюджета, эффективность процесса разработки, удовлетворенность команды проекта, инновационность и технологический уровень, а также стратегическое соответствие целям организации.

Для эффективного управления многокритериальностью в проектной деятельности существует широкий спектр методов и подходов. Используемые методы можно классифицировать по различным признакам, таким как способ обработки информации, тип получаемых результатов, учет неопределенности и другие. Каждый метод имеет свои преимущества и ограничения, что обуславливает необходимость их тщательного выбора в зависимости от специфики конкретного проекта.

Многообразие доступных методов позволяет решать сложные многокритериальные задачи в различных контекстах проектной деятельности [80]. При этом важно отметить, что эффективность применения того или иного метода зависит от множества факторов, включая характер решаемой задачи, доступность исходных данных, компетенции лиц, принимающих решения, и организационный контекст.

В современной практике проектного управления наблюдается тенденция к интеграции различных подходов и методов для достижения более комплексного и точного анализа многокритериальных проблем. Такая интеграция позволяет компенсировать ограничения отдельных методов и использовать их сильные стороны в рамках единого аналитического процесса.

Детальный анализ конкретных методов многокритериального анализа и оптимизации, их сравнительная характеристика и области применения будут представлены в последующих разделах работы.

Несмотря на наличие разнообразных методов и подходов к управлению многокритериальностью, проектные организации сталкиваются с рядом

проблем и вызовов в этой области. Одной из ключевых проблем является сложность выбора и обоснования весов критериев. Определение относительной важности различных критериев часто является субъективным процессом, что может приводить к разногласиям между заинтересованными сторонами.

Проблема несравнимости альтернатив возникает при анализе данных в многомерных пространствах. Разные подпространства дают несравнимые оценки. В некоторых случаях альтернативы могут быть несравнимы между собой по всей совокупности критериев, что затрудняет принятие однозначного решения.

Эффект «проклятия размерности» является еще одним серьезным вызовом связан с ухудшением работы обучаемых моделей, построенных на большом числе признаков.

Проблема интерпретации результатов многокритериального анализа также представляет значительную трудность. Результаты анализа могут быть сложны для понимания и интерпретации неспециалистами, что затрудняет их использование в процессе принятия решений и коммуникации с заинтересованными сторонами.

Динамический характер критериев создает дополнительные сложности. В ходе реализации проекта важность различных критериев может меняться, что требует постоянной корректировки моделей принятия решений.

Неполнота и неточность исходных данных также представляют серьезную проблему. Часто не все необходимые данные для оценки альтернатив по всем критериям доступны или достаточно точны, что вносит дополнительную неопределенность в процесс принятия решений.

Сложность учета взаимозависимости критериев является еще одним важным вызовом. Многие критерии в реальных проектах взаимозависимы, что не всегда адекватно учитывается существующими методами многокритериального анализа. Что может приводить к искажению результатов анализа и принятию неоптимальных решений.

Проблема масштабируемости методов также заслуживает внимания. Многие методы многокритериального анализа хорошо работают на небольших задачах, но становятся неэффективными при увеличении количества критериев и альтернатив. Упомянутое выше ограничивает их применимость в крупных и сложных проектах, характерных для современных проектных организаций.

Для преодоления вышеуказанных проблем и вызовов необходимо развитие новых подходов и методов, способных эффективно работать в условиях высокой сложности и неопределенности, характерных для современных проектов. На основе анализа текущего состояния и проблем в области управления многокритериальностью в проектной деятельности можно выделить несколько перспективных направлений исследований.

Разработка гибридных методов, сочетающих преимущества различных подходов к многокритериальному анализу и оптимизации, является одним из наиболее перспективных направлений. Такие методы могут обеспечить высокую точность и надежность результатов, одновременно преодолевая ограничения отдельных подходов.

Интеграция методов искусственного интеллекта и машинного обучения в процессы многокритериального анализа и принятия решений также представляет значительный интерес [72, 75].

Целью машинного обучения является создание алгоритмов и методов, позволяющих компьютерам обучаться на основе данных, выявлять закономерности и решать задачи без явного программирования. В отличие от традиционных алгоритмов, машинное обучение использует статистические модели и оптимизацию их параметров в процессе обучения на данных.

Развитие методов визуализации и интерпретации результатов многокритериального анализа является еще одним важным направлением исследований. Улучшение способов представления сложной многомерной информации может значительно повысить понимание и принятие результатов анализа всеми заинтересованными сторонами проекта.

Исследование и разработка адаптивных методов многокритериального анализа, способных учитывать изменения в важности критериев и появление новых факторов в ходе реализации проекта, также представляет значительный интерес. Такие методы могут обеспечить гибкий и реалистичный подход к управлению проектами в динамичной среде.

Развитие методов учета неопределенности и неполноты данных в многокритериальном анализе представляет собой критически важное направление исследований. Данная область включает разработку инновационных подходов к моделированию неопределенности, а также создание эффективных методов принятия решений в условиях ограниченной информации.

Исследование способов эффективного учета взаимозависимости критериев в моделях многокритериального анализа также вызывает значительный научный интерес. Данное направление предполагает разработку новых математических моделей и алгоритмов, способных адекватно отражать сложные взаимосвязи между различными аспектами проекта.

1.3. Критерии эффективности и методы оценки проектных решений

Критерии эффективности и методы их оценки играют ключевую роль в процессе принятия решений при управлении проектами. Они позволяют объективно оценивать альтернативные варианты, обосновывать выбор оптимальных решений и контролировать успешность реализации проекта. В данном разделе будет представлен подробный анализ критериев эффективности, применяемых в проектном управлении, а также методов их оценки [8].

Критерии эффективности в проектном управлении можно классифицировать по различным признакам. Одной из наиболее распространенных классификаций является разделение критериев на количественные и качественные.

Количественные критерии характеризуются числовыми показателями и могут быть измерены непосредственно или рассчитаны на основе других показателей. К ним относятся финансовые показатели (NPV, IRR, ROI), временные показатели (продолжительность проекта, время выполнения отдельных задач), показатели ресурсоэффективности (производительность труда, коэффициент использования оборудования) и др.

Качественные критерии, в свою очередь, не имеют четкого числового выражения и оцениваются экспертным путем. Примерами таких критериев могут служить удовлетворенность заказчика, соответствие стратегическим целям организации, влияние на репутацию компании, инновационность решения.

Другой важный аспект классификации критериев – их разделение по областям оценки эффективности проекта.

В Таблице 3 представлены основные группы критериев эффективности в соответствии с данной классификацией.

Важно отметить, что выбор конкретных критериев эффективности зависит от специфики проекта, отрасли и стратегических целей организации. При этом необходимо стремиться к балансу между различными группами критериев для обеспечения всесторонней оценки проектных решений.

Формирование и оценка критериев эффективности проектных решений представляет собой сложный процесс, требующий применения различных методов и подходов.

Таблица 3 – Группы критериев эффективности проектных решений

Группа критериев	Описание	Примеры критериев
Финансово-экономические	Оценивают экономическую эффективность и финансовую устойчивость проекта	NPV, IRR, срок окупаемости, рентабельность инвестиций
Временные	Характеризуют временные аспекты реализации проекта	Продолжительность проекта, время выхода на рынок, соблюдение сроков
Технические	Оценивают техническое совершенство и инновационность решения	Производительность, надежность, масштабируемость, энергоэффективность
Организационно-управленческие	Отражают эффективность управления проектом и его влияние на организацию	Эффективность использования ресурсов, качество коммуникаций, соответствие организационной структуре
Рыночные	Характеризуют конкурентоспособность и рыночный потенциал проекта	Доля рынка, удовлетворенность клиентов, соответствие рыночным трендам
Социальные	Оценивают социальное воздействие проекта	Создание рабочих мест, улучшение условий труда, развитие местных сообществ
Экологические	Характеризуют влияние проекта на окружающую среду	Сокращение выбросов CO ₂ , эффективность использования ресурсов, соответствие экологическим стандартам

Рассмотрим основные методы, используемые на различных этапах этого процесса.

1. Методы выявления и формирования критериев:

а) анализ документации: изучение проектной документации, стратегических планов организации, отраслевых стандартов для выявления релевантных критериев;

б) экспертные методы: проведение интервью, анкетирования, мозговых штурмов с участием экспертов и заинтересованных сторон для определения ключевых критериев эффективности;

в) бенчмаркинг: процесс изучения и адаптации наилучших методов других компаний для совершенствования собственных результатов, создание эталона оценки внутренних показателей исполнения;

г) метод анализа иерархий: МАИ позволяет структурировать проблему в виде иерархии, сравнить и выполнить количественную оценку альтернативных вариантов решения. В основе метода наряду с математикой заложены и психологические аспекты.

2. Методы оценки и измерения критериев:

а) прямые измерения: непосредственное измерение количественных показателей с использованием соответствующих инструментов и методик;

б) расчетные методы: вычисление значений критериев на основе математических моделей и формул (например, расчет NPV, IRR);

в) экспертные оценки: процедуры связаны с последовательным оцениванием и обобщением всех показателей иерархической структуры снизу-вверх;

г) методы нечеткой логики: использование аппарата нечетких множеств для оценки критериев в условиях неопределенности и неполноты информации.

3. Методы агрегирования и анализа критериев:

а) метод взвешенной суммы: объединение оценок по различным критериям с учетом их весовых коэффициентов;

б) метод анализа среды функционирования (DEA): оценка эффективности проектных решений на основе сопоставления входных и выходных параметров;

в) методы многокритериальной оптимизации: поиск оптимальных решений с учетом множества критериев (например, метод уступок, метод идеальной точки);

г) методы визуализации: использование графических представлений (например, лепестковые диаграммы, карты эффективности) для наглядного отображения оценок по множеству критериев.

Для иллюстрации процесса формирования и оценки критериев эффективности предлагается концептуальная схема формирования и оценки критериев эффективности проектных решений, изображенная на Рисунке 2.

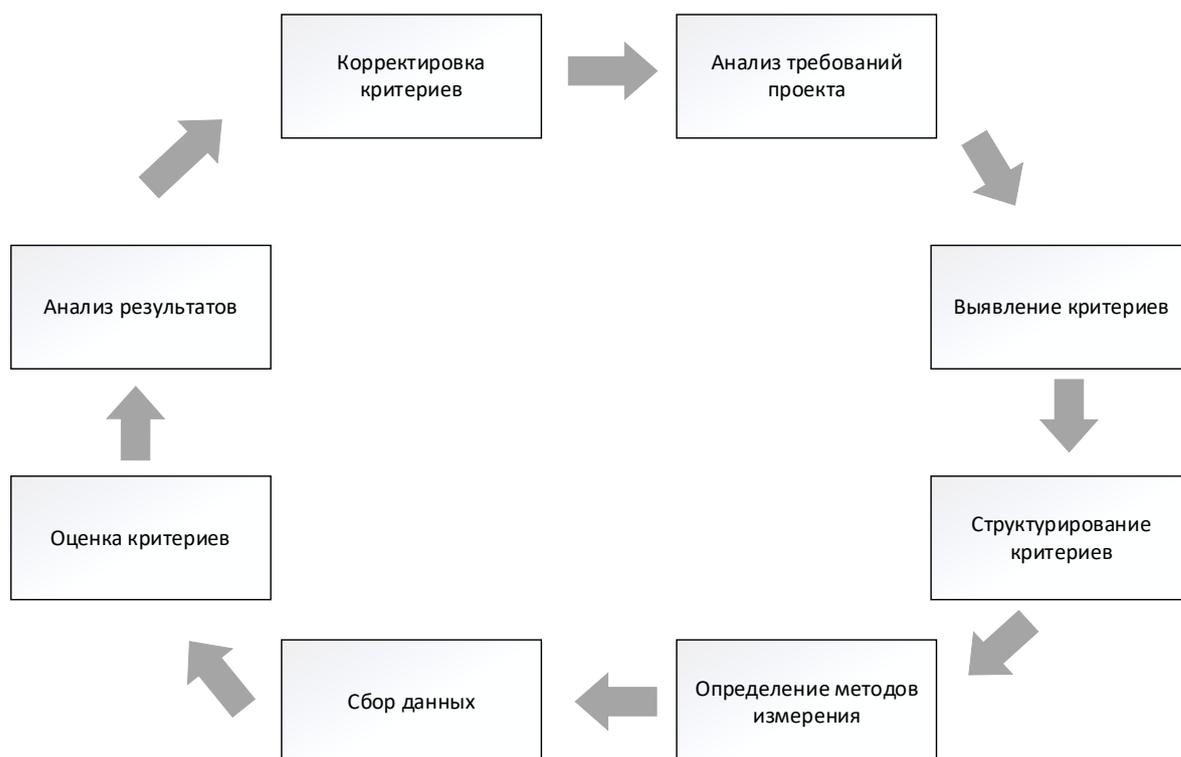


Рисунок 2 – Процесс формирования и оценки критериев эффективности проектных решений

Одной из ключевых проблем при оценке эффективности проектных решений является необходимость согласования противоречивых критериев. Связано с тем, что улучшение показателей по одним критериям часто приводит к ухудшению по другим [91].

Рассмотрим основные типы противоречий между критериями и подходы к их разрешению.

1. Типы противоречий между критериями:

а) стоимость против качество: повышение качества проектного решения часто требует увеличения затрат;

б) время против качество: сокращение сроков реализации проекта может негативно сказаться на качестве результатов;

в) риск против доходность: высокая ожидаемая доходность проекта обычно сопряжена с большим риском;

г) инновационность против надежность: внедрение инновационных решений может снижать надежность и предсказуемость результатов проекта;

д) экономическая эффективность против социальная ответственность: максимизация экономических показателей может вступать в противоречие с социальными и экологическими целями.

2. Подходы к разрешению противоречий между критериями:

а) метод Парето-оптимальности: подразумевает, что каждый критерий, характеризующий систему, не может быть улучшен без одновременного ухудшения другого такого критерия;

б) метод лексикографического упорядочения: ранжирование критериев по важности и последовательная оптимизация по каждому из них;

в) метод свертки критериев: при комбинировании частных критериев получается один скалярный критерий, и задача сводится к решению однокритериальной;

г) метод анализа компромиссов: систематическое исследование trade-offs между различными критериями для выявления наиболее сбалансированных решений;

д) метод целевого программирования: определение желаемых значений для каждого критерия и поиск решения, минимизирующего отклонения от значений.

Для наглядного представления процесса согласования противоречивых критериев предлагается использовать концептуальную схему согласования противоречивых критериев в проектных решениях, изображенную на Рисунке 3.

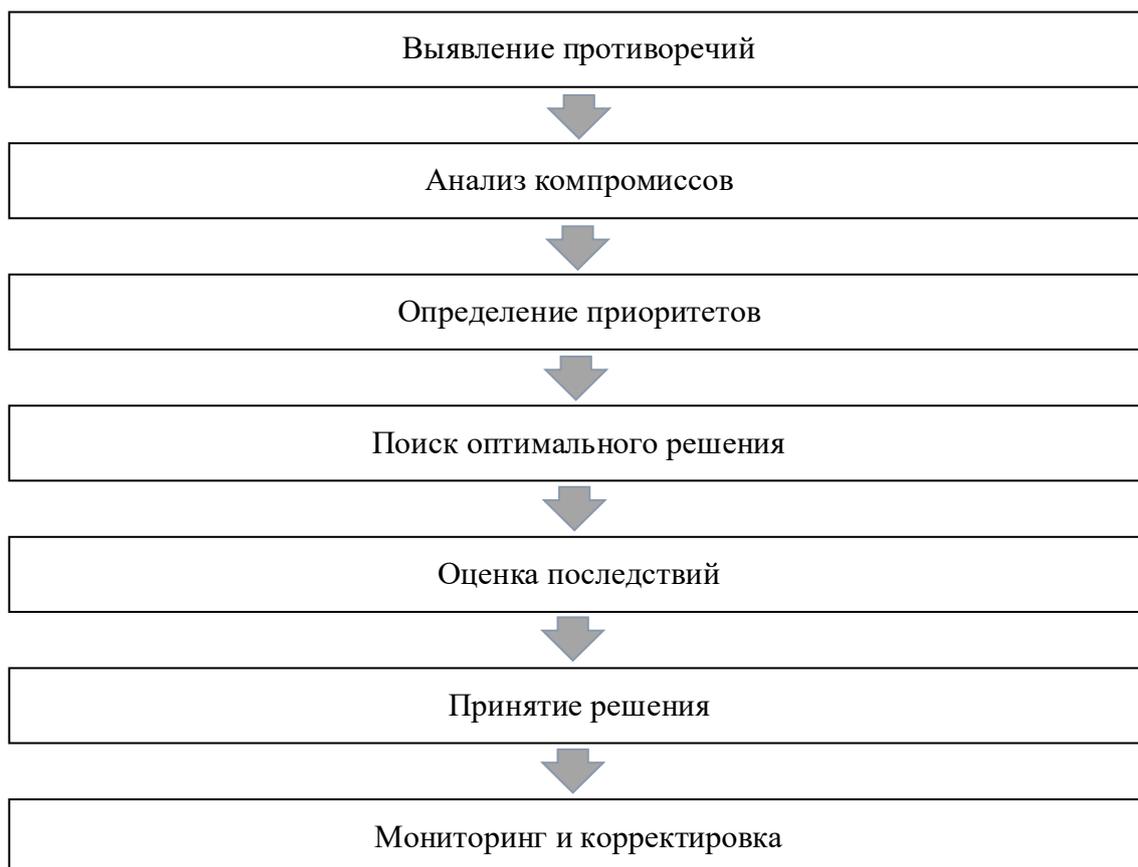


Рисунок 3 – Процесс согласования противоречивых критериев в проектных решениях

Эффективное использование критериев оценки проектных решений требует их интеграции в общую систему управления проектами. Интеграция позволит обеспечить согласованность целей проекта, критериев оценки и процессов принятия решений на всех этапах жизненного цикла проекта [70, 71, 82].

Основные аспекты интеграции критериев эффективности в систему управления проектами включают:

1. привязку критериев к стратегическим целям организации: обеспечение соответствия критериев эффективности проекта общим стратегическим приоритетам компании;

2. включение критериев в процессы планирования: использование выбранных критериев при разработке планов проекта и определении ключевых показателей, эффективности (KPI);

3. мониторинг и контроль на основе критериев: регулярная оценка прогресса проекта с использованием выбранных критериев эффективности;

4. интеграцию с системой управления рисками: учет влияния различных рисков на ключевые критерии эффективности проекта;

5. использование критериев в процессах принятия решений: применение выбранных критериев при оценке альтернатив и обосновании управленческих решений на всех этапах проекта;

6. обучение и развитие персонала: повышение компетенций проектной команды в области оценки эффективности и использования выбранных критериев.

Рассмотрим основные тенденции, которые наблюдаются в области оценки эффективности проектных решений в последние годы:

1. переход к комплексным системам оценки: интеграция финансовых и нефинансовых критериев в единую сбалансированную систему показателей;

2. усиление внимания к долгосрочным эффектам: учет не только краткосрочных результатов, но и долгосрочного влияния проекта на организацию и окружающую среду;

3. повышение роли социальных и экологических критериев: растущее значение оценки социальной ответственности и экологической устойчивости проектов;

4. применение методов искусственного интеллекта и машинного обучения: использование передовых технологий для анализа больших объемов данных и выявления скрытых закономерностей при оценке эффективности проектов;

5. развитие динамических методов оценки: учет изменений в приоритетах и критериях эффективности на протяжении жизненного цикла проекта;

6. усиление ориентации на стейкхолдеров: глубокий учет интересов и ожиданий различных заинтересованных сторон при формировании критериев эффективности;

7. интеграция с agile-методологиями: адаптация методов оценки эффективности к гибким подходам управления проектами;

Перечисленные выше тенденции отражают общее движение к комплексному, динамическому и ориентированному на устойчивое развитие подходу к оценке эффективности проектных решений. Учет тенденций при разработке методов поддержки принятия решений в проектных организациях позволит повысить их актуальность и практическую применимость в современных условиях.

1.4. Анализ существующих подходов к поддержке принятия решений в проектировании

В данном разделе проведен всесторонний анализ существующих подходов к поддержке принятия решений в проектировании. Рассмотрим основные методы и инструменты, их классификацию, преимущества и недостатки, а также оценим их применимость в контексте современных проектных организаций [7, 49, 50, 135, 139].

Методы поддержки принятия решений в проектировании можно классифицировать по различным признакам. Одна из наиболее распространенных классификаций основана на типе используемой информации и характере получаемых результатов:

1. Методы многокритериального анализа решений (MCDA):

- метод МАИ;
- метод PROMETHEE;
- метод TOPSIS;
- метод ELECTRE.

2. Методы многокритериальной оптимизации:

метод взвешенной суммы критериев;

метод ε -ограничений;

метод целевого программирования;

генетические алгоритмы для многокритериальной оптимизации.

На Рисунке 4 схематична изображена классификация методов поддержки принятия решений в проектировании.

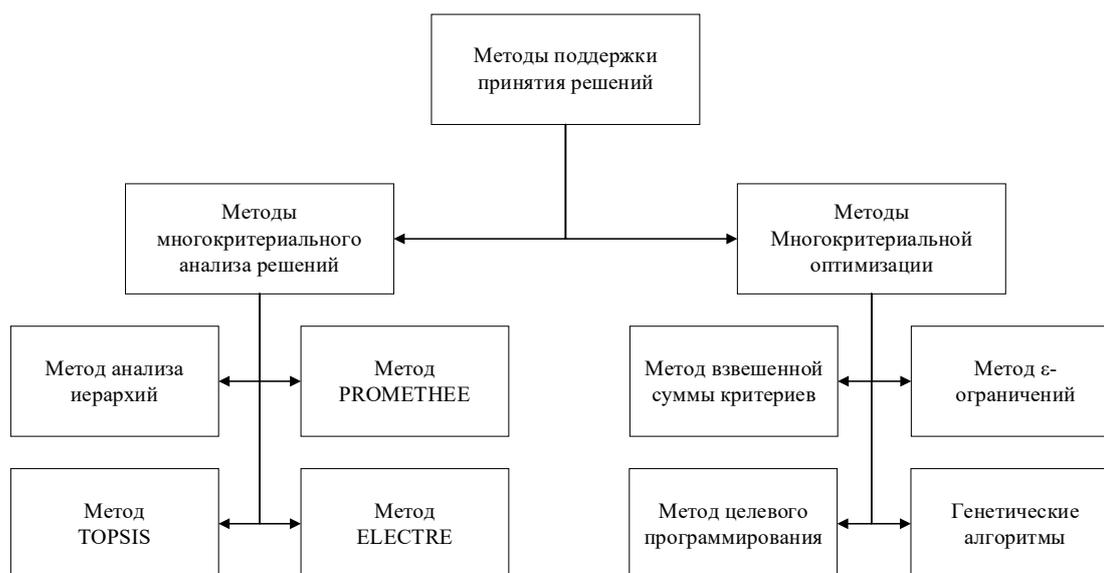


Рисунок 4 – Классификация методов поддержки принятия решений в проектировании

Рассмотрим подробнее некоторые из наиболее распространенных и эффективных методов поддержки принятия решений в проектировании.

Для наглядности информация представлена в Таблице 4.

Методы многокритериального анализа играют важную роль в поддержке принятия решений в проектировании. Рассмотрим их применимость к различным типам проектных задач.

МАИ позволяет структурировать сложные проблемы в виде иерархии и проводить попарное сравнение альтернатив. МАИ не предписывает какого-либо «правильного» решения, а позволяет лицу, принимающему решение, в интерактивном режиме найти вариант, который наилучшим образом

согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к её решению. Он эффективен при работе с качественными и количественными критериями, но может быть субъективным и сложным при большом числе критериев [76, 79].

Таблица 4 – Основные методы поддержки принятия решений

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
МАИ	Структурирование проблемы в виде иерархии и попарное сравнение альтернатив	Учет качественных и количественных факторов Проверка согласованности суждений	Субъективность оценок Сложность при большом числе критериев
ELECTRE	Попарное сравнение альтернатив с использованием отношений превосходства	Учет неопределенности Возможность несравнимости альтернатив	Сложность интерпретации результатов Трудоемкость при большом числе альтернатив
PROMETHEE	Ранжирование альтернатив на основе попарных сравнений по каждому критерию	Гибкость в определении предпочтений Наглядность представления результатов	Сложность выбора функций предпочтения Чувствительность к выбору параметров
TOPSIS	Выбор альтернативы, наиболее близкой к идеальному решению и наиболее удаленной от наихудшего	Простота вычислений Интуитивно понятная логика	Чувствительность к нормализации данных Не учитывает корреляцию критериев
Метод взвешенной суммы критериев	Суммирование взвешенных значений критериев для каждой альтернативы	Простота применения. Понятная интерпретация	Предполагает линейность предпочтений. Чувствительность к выбору весов

Метод PROMETHEE основан на вычислении степени предпочтения одной альтернативы над другой по каждому критерию, а также на агрегации этих степеней с учётом весов критериев.

Метод TOPSIS основан на вычислении расстояний между стратегиями и идеальными точками, соответствующими максимальному и минимальному значению каждого критерия. Позволяет определить наилучшую и наихудшую стратегию, а также рассчитать относительную близость каждой стратегии к идеальному решению [86].

Методы многокритериальной оптимизации, такие как метод взвешенной суммы критериев и метод ε -ограничений, позволяют находить оптимальные решения в многомерном пространстве критериев [78].

Они эффективны при работе с количественными критериями, но могут быть сложны в применении к качественным показателям [36].

Для оценки эффективности различных подходов к поддержке принятия решений в проектировании необходимо учитывать несколько ключевых факторов:

1. точность и надежность результатов;
2. вычислительная сложность и время решения;
3. интерпретируемость результатов;
4. гибкость и адаптивность метода;
5. способность работать с неполными и неточными данными;
6. учет многокритериальности и неопределенности;
7. возможность интеграции с существующими системами управления проектами.

Сравнительный анализ эффективности методов приведен в Таблице 5.

Анализ Таблицы 5 показывает, что каждый метод имеет свои сильные и слабые стороны. Метод анализа иерархий обеспечивает высокую точность и интерпретируемость, но имеет среднюю вычислительную сложность [15, 26, 37].

PROMETHEE отличается высокой гибкостью и способностью работать с неопределенностью, но может быть сложен в интерпретации. TOPSIS прост в применении и имеет высокую интерпретируемость, но менее гибок и хуже работает с неопределенностью.

Таблица 5 – Сравнительный анализ эффективности методов

Метод	МАИ	ELECTRE	PROMETHEE	TOPSIS	Нечеткая логика
Точность	Высокая	Высокая	Высокая	Средняя	Средняя
Вычислительная сложность	Средняя	Высокая	Средняя	Низкая	Высокая
Интерпретируемость	Высокая	Низкая	Средняя	Высокая	Низкая
Гибкость	Средняя	Высокая	Высокая	Низкая	Высокая
Работа с неопределенностью	Средняя	Высокая	Средняя	Низкая	Высокая

Современные тенденции в развитии систем поддержки принятия решений демонстрируют возрастающую роль методов машинного обучения. Особое внимание уделяется алгоритмам градиентного бустинга, которые показывают высокую эффективность в задачах прогнозирования и классификации. Исследование Чена и Гестрина [124] подтверждают способность градиентного бустинга работать с разнородными данными и выявлять сложные нелинейные зависимости, что особенно ценно в контексте многокритериальных задач проектного управления.

В последние годы наблюдаются следующие тенденции в развитии методов поддержки принятия решений в проектировании:

1. интеграция различных методов и подходов для создания гибридных систем поддержки принятия решений;
2. активное внедрение методов искусственного интеллекта и машинного обучения, в частности, использование алгоритмов градиентного бустинга и нейронных сетей для анализа больших объемов данных, выявления скрытых закономерностей и прогнозирования успешности проектных решений;
3. развитие интерактивных методов поддержки принятия решений, позволяющих эффективнее учитывать предпочтения лиц, принимающих решения;

4. повышение внимания к методам визуализации результатов анализа для улучшения интерпретируемости и поддержки коллективного принятия решений;

5. разработка методов, способных учитывать динамику изменения критериев и предпочтений в процессе реализации проекта.

Выявленные ограничения указывают на необходимость разработки новых подходов и методов, способных преодолеть указанные проблемы и обеспечить эффективную поддержку принятия решений в современных проектных организациях.

1.5. Постановка задачи исследования и обоснование необходимости разработки алгоритма

Анализ современного состояния методов и алгоритмов поддержки принятия решений в проектных организациях выявил ряд существенных ограничений и проблем, снижающих эффективность управления проектами в условиях высокой сложности и неопределенности. Ключевые проблемы включают недостаточный учет многокритериальности проектных задач, сложность работы с неопределенностью и неполнотой данных, недостаточную гибкость и адаптивность методов к изменяющимся условиям проекта, а также проблемы масштабируемости при увеличении размерности задачи.

Многие существующие методы не способны эффективно работать с большим количеством разнородных критериев, что приводит к упрощению моделей и потере важной информации при принятии решений. Кроме того, сложность интерпретации результатов анализа для лиц, принимающих решения, часто затрудняет обоснование и объяснение принятых решений перед заинтересованными сторонами проекта.

Недостаточная интеграция методов поддержки принятия решений с системами управления знаниями и опытом предыдущих проектов также

ограничивает возможности по использованию накопленного опыта для повышения качества принимаемых решений. Ограниченные возможности по учету взаимозависимости критериев и альтернатив могут приводить к субоптимальным решениям, не учитывающим сложные взаимосвязи между различными аспектами проекта.

Учитывая выявленные проблемы и современные тенденции в развитии методов поддержки принятия решений, сформулирована следующая цель исследования: разработка алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев в проектных организациях, обеспечивающего эффективное решение многокритериальных задач в условиях высокой неопределенности и динамически изменяющейся проектной среды.

Важной задачей является разработка механизма адаптации алгоритма к изменениям в проектной среде, обеспечивающего гибкую корректировку критериев и предпочтений в процессе реализации проекта.

Особое внимание следует уделить разработке методов визуализации и интерпретации результатов анализа, повышающих прозрачность процесса принятия решений и облегчающих коммуникацию с заинтересованными сторонами проекта. Также необходимо создать механизм интеграции разработанного алгоритма с системами управления знаниями и базами лучших практик для повышения качества принимаемых решений на основе накопленного опыта.

Заключительным этапом исследования должна стать разработка прототипа системы поддержки принятия решений на основе предложенного алгоритма и его апробация на реальных проектных задачах.

Алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений должен удовлетворять ряду ключевых требований. Он должен обеспечивать эффективную работу с большим количеством разнородных критериев, включая как количественные, так и качественные показатели. Важной характеристикой алгоритма должна быть способность формировать

обоснованные решения на основе неполной и вероятностной информации, а также быстро адаптироваться к изменениям в проектной среде.

Алгоритм должен обеспечивать эффективную работу с большим количеством альтернатив в реальном времени, сохраняя при этом прозрачность процесса принятия решений и возможность объяснения полученных результатов неспециалистам. Важным требованием является возможность легкой интеграции с существующими системами управления проектами и корпоративными информационными системами.

Разработка алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений, удовлетворяющего указанным требованиям, позволит существенно повысить эффективность процессов принятия решений в проектных организациях, что, в свою очередь, приведет к улучшению качества проектных решений, снижению рисков, оптимизации использования ресурсов и повышению общей успешности реализации проектов.

Актуальность разработки алгоритма обусловлена рядом факторов, включая растущую сложность и масштаб проектов, увеличение объемов доступной информации, повышение требований к скорости принятия решений в условиях динамично меняющейся бизнес-среды, а также растущее внимание к социальным и экологическим аспектам проектной деятельности.

Для наглядного представления ключевых аспектов разрабатываемого алгоритма и его преимуществ по сравнению с существующими подходами предлагается сравнительная Таблица 6.

Разработка алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев в проектных организациях является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить эффективность управления проектами в современных условиях высокой сложности и неопределенности.

Таблица 6 – Сравнение разрабатываемого алгоритма с существующими подходами

Характеристика	Существующие методы	Разрабатываемый алгоритм
Учет многокритериальности	Ограниченное количество критериев	Эффективная работа с большим числом разнородных критериев
Адаптивность	Ограниченная гибкость	Быстрая адаптация к изменениям в проектной среде
Масштабируемость	Проблемы при увеличении размерности задачи	Эффективная работа с большим количеством альтернатив
Интерпретируемость	Часто сложны для объяснения	Обеспечение прозрачности процесса принятия решений
Интеграция с системами управления знаниями	Ограниченная	Тесная интеграция с базами знаний и лучших практик
Учет взаимозависимостей	Часто ограничен	Моделирование сложных взаимосвязей между критериями и альтернативами
Поддержка коллективного принятия решений	Не всегда предусмотрена	Встроенные механизмы учета мнений различных заинтересованных сторон

Выводы по Главе 1

Проведенное исследование современных методов поддержки принятия решений при выборе из множества альтернатив в проектных организациях выявило ряд ключевых особенностей и проблем в данной области.

Анализ специфики управления в организационных системах проектного типа показал, что проектные организации характеризуются высокой динамичностью, ориентацией на уникальные результаты и необходимостью постоянной адаптации к изменяющимся условиям. Такая специфика создает особые требования к процессам принятия решений, которые должны учитывать многокритериальность задач, неопределенность исходных данных и ограниченность времени на принятие решений.

Исследование многокритериальности как фактора сложности управления проектами выявило, что современные проекты часто

характеризуются наличием большого числа разнородных критериев, которые необходимо учитывать при принятии решений. Такая ситуация существенно усложняет процесс анализа альтернатив и требует применения специальных методов многокритериальной оптимизации. Важным аспектом является необходимость согласования противоречивых критериев и поиска компромиссных решений.

Анализ критериев эффективности и методов оценки проектных решений показал разнообразие подходов к формированию и оценке критериев в различных областях проектной деятельности. Выявлена необходимость комплексного учета финансово-экономических, технических, социальных и экологических аспектов при оценке эффективности проектных решений. Отмечена важность интеграции критериев эффективности в общую систему управления проектами.

Детальное рассмотрение существующих подходов к поддержке принятия решений в проектировании выявило их сильные и слабые стороны. Установлено, что многие методы имеют ограничения по работе с большим количеством критериев, обработке неопределенной информации и адаптации к изменяющимся условиям проекта. Отмечены проблемы масштабируемости методов при увеличении размерности задачи и сложности интерпретации результатов для лиц, принимающих решения.

На основе выявленных проблем и ограничений существующих подходов сформулирована задача разработки алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев в проектных организациях. Определены ключевые требования к разрабатываемому алгоритму, включая способность эффективной работы с большим количеством разнородных критериев, обработку неопределенной и неполной информации, адаптивность к изменениям в проектной среде, масштабируемость и интерпретируемость результатов.

Обоснована актуальность разработки алгоритма, обусловленная растущей сложностью и масштабом проектов, увеличением объемов

доступной информации, повышением требований к скорости принятия решений и необходимостью учета широкого спектра факторов, включая социальные и экологические аспекты.

Предложенная сравнительная таблица наглядно демонстрирует потенциальные преимущества разрабатываемого алгоритма по сравнению с существующими подходами в ключевых аспектах поддержки принятия решений в проектных организациях.

Проведенный анализ подтверждает необходимость и актуальность разработки алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений, способного преодолеть ограничения существующих подходов и обеспечить эффективное управление проектами в современных условиях высокой сложности и неопределенности. Результаты данного исследования создают теоретическую и методологическую основу для дальнейшей разработки комплексного алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев в проектных организациях.

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО АЛГОРИТМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ДИНАМИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ ВХОДНЫМ НАБОРОМ КРИТЕРИЕВ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРОЕКТНОГО ТИПА

2.1 Постановка задачи разработки комплексного алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев

На основе анализа, проведенного в первой главе, становится очевидной необходимость разработки комплексного алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений для оптимального выбора стратегии проектирования в современных проектных организациях. Сложность и многогранность проектов, реализуемых такими организациями, требует учета множества взаимосвязанных факторов при принятии решений, а также способности адаптироваться к динамически изменяющимся условиям проектной среды. Различные подходы к решению задач многокритериальной оптимизации, включая метод PROMETHEE и его модификации, детально описаны в исследованиях [122, 134].

В рамках данного исследования под комплексным алгоритмом понимается интегрированная система, состоящая из трех взаимосвязанных алгоритмов: алгоритма управления входным набором данных, алгоритма многокритериального анализа альтернатив и алгоритма формирования интеллектуальных рекомендаций. Первым этапом реализации такого алгоритма является структурирование и адаптация исходной задачи, при которой полученная задача удовлетворяла бы всем условиям применимости выбранных методов многокритериального анализа.

Разрабатываемый комплексный алгоритм должен обеспечивать интеграцию различных подходов к многокритериальному анализу, в частности, метода МАИ, метода PROMETHEE и метода TOPSIS, что позволит использовать сильные стороны каждого метода и компенсировать их индивидуальные ограничения.

Алгоритм будет состоять из трех взаимосвязанных компонентов:

1. алгоритм управления входным набором данных;
2. алгоритм многокритериального анализа альтернатив;
3. алгоритм формирования интеллектуальных рекомендаций.

Ключевые критерии, которые необходимо учитывать при выборе стратегии проектирования, включают стоимость проекта, сроки реализации, функциональные требования, качество, риски, вовлеченность заинтересованных сторон.

Перечисленные критерии не являются изолированными, а образуют сложную систему взаимосвязей, где изменение одного параметра может существенно повлиять на другие. Учет взаимосвязей представляет собой одну из ключевых задач при разработке алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений.

Разрабатываемый алгоритм должен удовлетворять следующим требованиям:

1. способность эффективно обрабатывать большое количество критериев (более 15-20) без значительного усложнения процесса анализа;
2. возможность динамической корректировки весов критериев в процессе реализации проекта;
3. учет взаимозависимости критериев и их влияния друг на друга.
4. эффективные механизмы для интеграции и балансировки мнений различных заинтересованных сторон проекта;
5. прозрачность и интерпретируемость результатов анализа для всех участников процесса принятия решений;

6. обеспечение эффективного взаимодействия между тремя составляющими алгоритмами для достижения синергетического эффекта в процессе принятия решений.

Разрабатываемый комплексный алгоритм призван стать эффективным инструментом поддержки принятия решений в проектных организациях, позволяющим повысить обоснованность и качество выбора оптимальных стратегий проектирования в условиях многокритериальности и неопределенности.

Особое внимание при разработке комплексного алгоритма необходимо уделить его адаптивности к специфике различных типов проектных организаций, обеспечению активного вовлечения всех заинтересованных сторон в процесс принятия решений, а также интеграции с системами управления знаниями для непрерывного совершенствования процесса.

В последующих разделах будет представлено детальное описание структуры и принципов работы трех разработанных алгоритмов, механизмов их взаимодействия, а также способов интеграции выбранных методов многокритериального анализа для решения поставленной задачи.

2.2. Интеграция методов МАИ, PROMETHEE и TOPSIS

Разрабатываемый комплексный алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев в организационных системах проектного типа основан на интеграции трех методов многокритериального анализа: МАИ, метода PROMETHEE и метода TOPSIS. Каждый из этих методов имеет свои уникальные преимущества, и их комбинация позволяет создать синергетический эффект, преодолевая ограничения каждого метода в отдельности.

Для повышения адаптивности и точности разрабатываемого метода, наряду с классическими подходами многокритериального анализа, предлагается интеграция модели машинного обучения на основе градиентного

бустинга. Выбор данного алгоритма обусловлен его способностью эффективно обрабатывать неоднородные данные, характерные для проектной деятельности, и выявлять сложные нелинейные зависимости между различными факторами, влияющими на успех проекта.

2.2.1. Роль метода МАИ в алгоритме управления входным набором данных

Метод анализа иерархий играет фундаментальную роль на начальном этапе разработанного алгоритма управления входным набором критериев. Его значимость обусловлена способностью структурировать сложные многокритериальные проблемы и предоставлять математически обоснованный подход к определению приоритетов [104].

В контексте выбора оптимальной стратегии проектирования МАИ позволяет декомпозировать комплексную задачу в иерархическую структуру. На вершине этой структуры находится главная цель – выбор наилучшей стратегии проектирования. Следующий уровень составляют основные критерии оценки, такие как стоимость проекта, сроки реализации, функциональные требования, качество, риски и вовлеченность заинтересованных сторон. Каждый из указанных критериев может быть далее разделен на подкритерии, что позволяет учесть более тонкие аспекты оценки. На нижнем уровне иерархии располагаются альтернативные стратегии проектирования, подлежащие сравнению и выбору.

Важным аспектом применения МАИ является возможность проверки согласованности экспертных суждений. Метод предоставляет математический аппарат для расчета индекса согласованности, который позволяет выявить потенциальные противоречия или несогласованности в оценках экспертов [54].

Особенно ценно в контексте проектных организаций, где решения часто принимаются коллективно и необходимо учитывать мнения различных специалистов и заинтересованных сторон. Различные методы экспертной оценки и их применение в системах поддержки принятия решений рассматриваются в исследованиях [93-96].

Применение МАИ на начальном этапе метода способствует лучшему пониманию структуры проблемы всеми участниками процесса принятия решений [54, 55, 57].

Визуальное представление иерархии критериев и альтернатив помогает сформировать общее видение задачи и фокусирует внимание на ключевых аспектах выбора стратегии проектирования.

Роль МАИ в разрабатываемом методе заключается в создании прочного фундамента для дальнейшего анализа. Метод обеспечивает структурированный подход к декомпозиции проблемы, определению приоритетов критериев и агрегированию мнений экспертов. Такой подход создает основу для последующего применения методов PROMETHEE и TOPSIS, позволяя им оперировать с четко определенной структурой критериев и их весов, что в конечном итоге способствует обоснованному и сбалансированному выбору оптимальной стратегии проектирования.

Интеграция МАИ с последующим этапом PROMETHEE позволяет эффективно использовать структурированную иерархию критериев и их веса, определенные на этапе МАИ.

2.2.2. Применение метода PROMETHEE в алгоритме анализа множества альтернатив

Метод PROMETHEE, является ключевым компонентом разрабатываемого алгоритма анализа множества альтернатив. Его применение следует за этапом структурирования проблемы и определения весов

критериев, выполненным с помощью МАИ, и обеспечивает детальный и гибкий анализ альтернативных стратегий проектирования.

В контексте разрабатываемого алгоритма, PROMETHEE будет использоваться для обеспечения ряда ключевых преимуществ. Прежде всего, метод позволит гибко моделировать предпочтения, учитывая различные типы критериев и предпочтений лиц, принимающих решения, что критично для сложных проектных ситуаций. Важной особенностью PROMETHEE является возможность попарного сравнения альтернатив, что обеспечит детальный анализ отношений между альтернативными стратегиями проектирования.

Метод PROMETHEE позволяет учитывать интенсивность предпочтений, оценивая не только направление, но и силу предпочтения одной альтернативы над другой [122].

Метод предоставляет возможность как частичного, так и полного ранжирования альтернатив, позволяя выявлять четкие предпочтения и, одновременно, идентифицировать несравнимые альтернативы, если таковые имеются.

Интеграция PROMETHEE с предшествующим этапом МАИ позволяет эффективно использовать структурированную иерархию критериев и их веса, определенные на этапе МАИ. Такой подход обеспечивает согласованность и преемственность анализа на различных этапах алгоритма.

В дальнейшем будет представлено детальное описание конкретных шагов применения PROMETHEE в рамках разрабатываемого алгоритма анализа множества альтернатив. На данном этапе важно отметить, что использование описанного метода значительно расширит аналитические возможности алгоритма.

2.2.3. Использование метода TOPSIS в алгоритме анализа множества альтернатив

Метод TOPSIS, представляет собой заключительный этап разрабатываемого алгоритма анализа множества альтернатив. Метод органично дополняет предыдущие этапы, основанные на МАИ и PROMETHEE, предоставляя мощный инструмент для окончательной оценки и выбора оптимальной стратегии проектирования.

В контексте разрабатываемого комплексного алгоритма, TOPSIS будет играть ключевую роль в процессе принятия окончательного решения. Метод позволит проводить комплексную оценку альтернатив на основе их близости к идеальному решению и удаленности от наихудшего. Что обеспечит интуитивно понятный и обоснованный подход к ранжированию альтернативных стратегий проектирования.

Важным преимуществом использования TOPSIS в разрабатываемом алгоритме станет его способность эффективно работать с результатами предыдущих этапов. Веса критериев, определенные на этапе МАИ, и детальные оценки альтернатив, полученные с помощью PROMETHEE, будут служить входными данными для TOPSIS, обеспечивая преемственность и согласованность анализа на всех этапах.

Метод TOPSIS также предоставит возможность проведения анализа чувствительности результатов к изменению весов критериев. Что позволит оценить устойчивость полученного ранжирования и выявить критические факторы, влияющие на выбор оптимальной стратегии проектирования. Такой анализ особенно важен в контексте проектных организаций, где условия и приоритеты могут меняться в процессе реализации проекта.

2.2.4. Синергетический эффект от комбинации методов

Интеграция методов МАИ, PROMETHEE и TOPSIS в единый комплексный алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений создает синергетический эффект, значительно повышающий эффективность процесса выбора оптимальной стратегии проектирования

Прежде всего, комбинация перечисленных методов обеспечивает комплексный и многоуровневый анализ проблемы выбора стратегии проектирования. МАИ предоставляет структурированный подход к декомпозиции проблемы и определению приоритетов критериев, создавая прочный фундамент для дальнейшего анализа. PROMETHEE, в свою очередь, обеспечивает гибкий инструментарий для детального сравнения альтернатив, учитывая нюансы предпочтений лиц, принимающих решения. TOPSIS завершает процесс, предоставляя четкое и обоснованное ранжирование альтернатив на основе их близости к идеальному решению [127].

Такой многоступенчатый подход позволяет рассмотреть проблему с различных ракурсов, что критически важно для принятия взвешенных решений в сложных проектных ситуациях.

Важным аспектом синергии является способность метода учитывать различные типы информации и предпочтений. МАИ эффективно работает с качественными оценками экспертов, PROMETHEE позволяет моделировать нелинейные предпочтения с помощью различных функций, а TOPSIS обеспечивает количественное сравнение альтернатив. Такая комбинация позволяет алгоритму адаптироваться к различным типам входных данных и предпочтений, характерных для разных аспектов проектной деятельности.

Комбинация методов обеспечивает повышенную надежность и устойчивость результатов анализа. Каждый метод имеет свои сильные стороны и ограничения, и их совместное использование позволяет компенсировать недостатки одних методов преимуществами других. Например, субъективность экспертных оценок в МАИ может быть

сбалансирована объективным подходом TOPSIS к сравнению альтернатив. Что приводит к надежным и обоснованным результатам, что особенно важно при принятии стратегических решений в проектных организациях.

Синергетический эффект проявляется учитывать мнения различных заинтересованных сторон проекта. МАИ обеспечивает механизмы для агрегирования индивидуальных суждений, PROMETHEE позволяет моделировать различные предпочтения, а TOPSIS предоставляет объективный критерий для окончательного выбора. Подобная интеграция методов способствует достижению консенсуса и принятию решений, учитывающих интересы всех участников проекта.

2.3 Описание и математическое представление комплексного алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев

Разработанный комплексный алгоритм представляет собой системный подход к выбору оптимальной стратегии проектирования, сочетающий традиционные методы многокритериального анализа с передовыми технологиями машинного обучения [87]. Структура алгоритма основана на интеграции трех ключевых алгоритмов: алгоритма управления входным набором данных, алгоритма многокритериального анализа альтернатив и алгоритма формирования интеллектуальных рекомендаций. Блок-схема последовательности шагов комплексного алгоритма представлена на Рисунке 5.

В рамках разрабатываемого комплексного алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений интегрируется модель машинного обучения на основе градиентного бустинга. Данная модель предназначена для повышения точности прогнозирования успешности различных стратегий проектирования и формирования адаптивных рекомендаций.



Рисунок 5 – Схема комплексного алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений

Модель машинного обучения будет включена в алгоритм формирования интеллектуальных рекомендаций, которая будет позволять учитывать неявные закономерности в исторических данных проектов и адаптировать рекомендации к специфике конкретной организации, что существенно повышает точность и релевантность формируемых решений.

Алгоритм управления входным набором данных является ключевым компонентом разработанного комплексного алгоритма. Его основная цель – структурирование и оптимизация входных данных для последующего эффективного многокритериального анализа. Алгоритм обеспечивает формирование оптимального набора критериев, учитывающего специфику проекта и компетенции различных ЛПР, состоящий из четырех основных этапов, каждый из которых вносит важный вклад в подготовку данных для дальнейшего анализа [9-12, 16, 17].

Шаг 1: Выявление ЛПР, и их группировка по ролям. Определяются ЛПР, их роли и компетенции. Для этого проводятся интервью и опросы. ЛПР группируются по обобщенным ролям, например, руководство, разработчики, пользователи.

Выделение ограниченного числа ключевых ролей ЛПР соответствует принципам иерархического структурирования задачи многокритериальной оптимизации методом анализа иерархий.

Проводится всесторонний анализ организационной структуры проекта и компании для выявления всех сотрудников и заинтересованных лиц, которые могут влиять на принятие решений. В этот список входят: руководство компании, менеджеры проекта, технические специалистов, представители заказчика, конечный пользователь и внешние консультанты.

Для каждого идентифицированного ЛПР анализируются его функции и обязанности в контексте проекта, включая изучение должностных инструкций, зон ответственности, уровня принятия решений и специализации.

На основе анализа функций и обязанностей формируется набор обобщенных ролей, отражающих ключевые аспекты процесса принятия

решений в проекте. Типичные роли могут включать стратегическое руководство, оперативное управление, техническую экспертизу, финансовый контроль, пользовательский опыт и внешнюю экспертизу.

Каждый ЛПР ассоциируется с одной или несколькими обобщенными ролями.

Проводится проверка корректности группировки через обсуждение с руководством проекта, консультации с самими ЛПР и анализ соответствия группировки целям проекта.

Результаты этапа формализуются в виде структурированного документа, содержащего список всех ЛПР, описание обобщенных ролей и матрицу соответствия ЛПР ролям.

Процесс выявления ЛПР и их группировки по ролям можно представить в виде формулы:

$$\text{ЛПР} = \{\text{ЛПР}_1, \text{ЛПР}_2, \dots, \text{ЛПР}_n\}, \quad (2)$$

Где ЛПР – множество всех лиц, принимающих решения,

$\text{ЛПР}_1, \text{ЛПР}_2, \dots, \text{ЛПР}_n$ – отдельные лица, принимающие решения. ЛПР могут представлять различные подразделения, должности, уровни управления, а также внешние организации.

Путем анализа организационной структуры, бизнес-процессов и специфики проекта определяется полный перечень ЛПР, который может включать от 1 до нескольких десятков участников процесса принятия решений.

Затем это множество ЛПР группируется по ролям:

$$\text{Роли} = \{\text{Роль}_1, \text{Роль}_2, \dots, \text{Роль}_m\}, \quad (3)$$

Где Роли – обобщенные роли ЛПР, такие как высшее руководство, руководители бизнес-подразделений, технические специалисты и т.д.

На данном этапе из сформированного на предыдущем шаге полного перечня ЛПР выделяются ключевые роли, наиболее значимые с точки зрения влияния на принимаемые решения. Выделение ролей необходимо в случае большого количества разнородных ЛПР. Такой подход позволяет получить

декомпозицию исходной задачи принятия решений с большим количеством ЛПР на подзадачи анализа предпочтений отдельных групп ЛПР по ролям.

Шаг 2: Анкетирование и определение компетенций.

Проводится анкетирование и интервью для определения предпочтений и требований ЛПР. Результаты структурируются в матрице компетенций ЛПР. Цель - определить их потребности, предпочтения, ожидания и требования в отношении проектируемого проекта. Результаты определения компетенций следует структурировать и формализовать в виде матрицы «Компетенций ЛПР».

Определение компетенций будет реализовано по следующему алгоритму:

1. Для каждого ЛПР:
 - a. Провести анкетирование/интервьюирование для определения основных и вторичных компетенций
 - b. Сформировать список основных компетенций ЛПР
 - c. Сформировать список вторичных компетенций ЛПР
2. Сформировать матрицу компетенций по следующей структуре:
 - a. Строки - роли ЛПР
 - b. Колонки – «Основные компетенции», «Уровень основных компетенций», «Вторичные компетенции», «Уровень вторичных компетенций»
3. Заполнить матрицу компетенций данными из шага 1

Анкетирование проводится индивидуально для каждого ЛПР. Например, опрос может быть реализован через онлайн-формы, личные интервью или комбинацию методов.

Для уточнения и расширения информации, полученной из анкет, проводятся дополнительные структурированные интервью с ключевыми ЛПР.

Результаты анкетирования и интервью анализируются для определения: уровня экспертизы в различных областях (высокий, средний, низкий); основных и вторичных компетенций; потенциальных областей конфликта интересов;

специфических знаний и опыта, релевантных для проекта.

На основе анализа создается матрица компетенций ЛПР, структурированная следующим образом:

строки представляют роли ЛПР;

колонки включают «Основные компетенции», «Уровень основных компетенций», «Вторичные компетенции», «Уровень вторичных компетенций».

Результатом будет являться матрица «Компетенций ЛПР», включающая основные и вторичные компетенции с указанием уровней для каждой роли.

Результаты формализуются в виде матрицы компетенций:

$$MK = [k_{ij}], \quad (4)$$

где k_{ij} – уровень компетенции i -го ЛПР в j -й области.

Пример матрицы представлен на Таблице 7.

Таблица 7 – Матрица «Компетенции ЛПР»

Роль ЛПР	Основные компетенции	Уровень	Второстепенные компетенции	Уровень
Высшее руководство	Стратегическое видение и управление	Высокий	Финансовый менеджмент, Управление ИТ	Средний
Руководители бизнес-подразделений	Понимание бизнес-процессов, Функциональные требования	Высокий	Технические знания, Юзабилити	Низкий
Технические специалисты	Архитектура ИТ-систем, Средства разработки	Высокий	Требования бизнеса, Безопасность	Средний
Конечные пользователи	Пользовательский опыт, Юзабилити	Высокий	Функциональные требования	Средний
Финансовые специалисты	Бюджетирование, Управление затратами	Высокий	Функциональные требования, Технические знания	Низкий
Специалисты по безопасности	Требования безопасности, Нормативное соответствие	Высокий	Архитектура ИТ-систем	Средний
Внешние консультанты	Лучшие отраслевые практики, Управление проектами	Высокий	Специализированные технические знания	Средний

В дальнейших шагах алгоритма управления входным набором критериев матрица используется при назначении весовых коэффициентов важности для ролей ЛПР на шаге 4, используя уровни основных компетенций из матрицы. При построении матрицы «Критерии-ЛПР» на шаге 4, используется уровни вторичных компетенций из матрицы «Компетенции ЛПР» для тонкой настройки степени значимости критериев для каждой роли

Данные матрицы будут использованы на последующих шагах для учета мнений и предпочтений различных ЛПР при оценке значимости критериев проектирования и анализе альтернативных вариантов проекта.

Такой детальный подход к анкетированию и определению компетенций ЛПР обеспечивает глубокое понимание экспертизы и предпочтений каждого участника процесса принятия решений, что повышает точность и обоснованность выбора оптимальной стратегии проектирования.

Шаг 3: Формирование списка критериев.

Этап является ключевым для создания комплексной и сбалансированной системы оценки альтернативных стратегий проектирования. Процесс начинается с тщательного анализа целей и требований проекта, включая изучение проектной документации, технических заданий и бизнес-требований.

Далее проводится сбор предложений от всех ЛПР. Процесс включает в себя проведение мозговых штурмов с участием представителей всех ролей ЛПР, индивидуальные консультации с ключевыми экспертами, а также анализ предложений, полученных на этапе анкетирования.

После сбора всей необходимой информации происходит структурирование и категоризация критериев. Формируется иерархическая структура, охватывающая функциональные требования, технические характеристики, экономические показатели, временные параметры, риски и ограничения, организационные аспекты и параметры пользовательского опыта.

Важным аспектом является анализ взаимосвязей между критериями. Выявляются потенциальные конфликты и синергетические эффекты, строится матрица взаимовлияния критериев. Позволяет учесть сложные взаимодействия между различными аспектами проекта при принятии решений.

Затем проводится предварительная оценка значимости критериев, включая их ранжирование по важности с учетом целей проекта и определение критериев, которые могут служить ограничениями.

Формируется полный перечень критериев, которые классифицируются и структурируются по категориям и уровням приоритета для каждой роли ЛПР:

$$K = \{K_1, K_2, \dots, K_p\}, \quad (5)$$

где K – множество критериев оценки.

Сформированный список критериев проходит процесс валидации и утверждения, включающий обсуждение со всеми группами ЛПР, корректировку с учетом обратной связи и финальное утверждение руководством проекта.

Завершается этап документированием результатов. Создается формальный документ, содержащий полный список критериев с описаниями, иерархическую структуру критериев, методы измерения и оценки для каждого критерия, а также обоснование выбора каждого критерия.

После формирования перечня критериев необходимо провести их классификацию и структурирование по категориям и уровням приоритета для каждой роли ЛПР.

В итоге должен быть сформирован структурированный и приоритизированный перечень критериев проектирования проектов.

На Рисунке 6 приведен сформированный список критериев, который станет основой для дальнейшего анализа.

Такой подход к формированию списка критериев обеспечивает комплексную оценку альтернативных стратегий проектирования, учитывая все ключевые аспекты проекта и интересы различных заинтересованных сторон. Тем самым создается прочная основа для последующих этапов алгоритма и повышается обоснованность принимаемых решений в сложных проектных ситуациях.

Шаг 4: Весовые коэффициенты и матрица «Критерии-ЛПР».

В рамках разработанного алгоритма управления входным набором критериев особое место занимает формирование весовых коэффициентов и матрицы «Критерии-ЛПР». Процесс играет ключевую роль в обеспечении дифференцированного учета значимости критериев для различных групп ЛПР. Разработанный подход не только позволяет эффективно интегрировать метод МАИ в общий процесс, но и обеспечивает математически обоснованный подход к количественной оценке влияния компетенций ЛПР на процесс принятия решений.

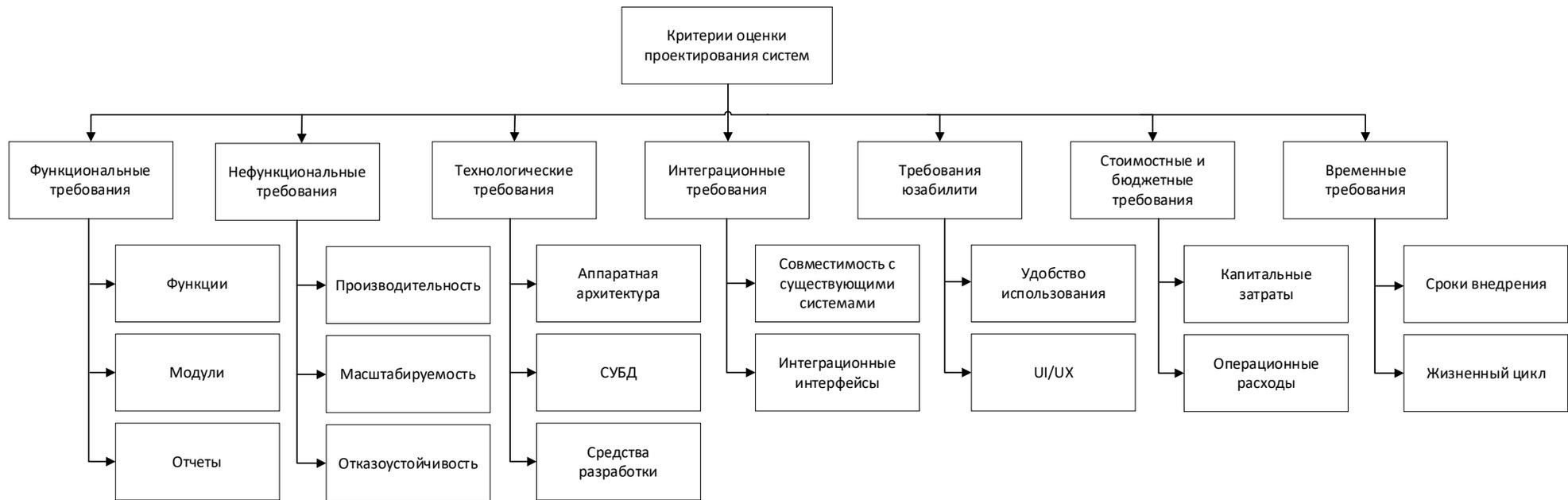


Рисунок 6 – Критерии проектирования систем

Структура включает в себя ряд последовательных этапов, каждый из которых вносит существенный вклад в повышение точности и объективности оценки альтернативных стратегий проектирования.

Процесс состоит из следующих этапов:

1. Назначаются весовые коэффициенты важности w_i для каждой роли ЛПР на основе уровней их основных компетенций из матрицы компетенций:

$$w_i = f(\text{УОК}_i), \quad (6)$$

Где $f()$ – функция, линейно преобразующая уровень компетенций в весовой коэффициент, а УОК – уровень основных компетенций.

Например, высокий уровень компетенции может соответствовать коэффициенту 0,5, средний – 0,3, а низкий – 0,2. Весовые коэффициенты нормируются так, чтобы сумма была равна 1.

Такой подход обеспечивает сопоставимость влияния различных ролей ЛПР, позволяет интерпретировать коэффициенты как доли от общего влияния и обеспечивает математическую корректность при дальнейших расчетах.

2. Следующим шагом является построение матрицы «Критерии-ЛПР».

Матрица отражает степень важности каждого критерия для каждой роли ЛПР с учетом их основных и вторичных компетенций. Для определения важности критерия используется специальная функция, учитывающая как основные, так и вторичные компетенции ЛПР. Если критерий относится к основным компетенциям роли, ему присваивается высокая важность.

Для вторичных компетенций важность определяется в зависимости от уровня компетенции: высокий уровень соответствует высокой важности, средний - средней, низкий - низкой.:

$$\text{ВК}_{ji} = g(\text{УОК}_i, \text{УВК}_{i,j}), \quad (7)$$

Где УВК – Уровень вторичной компетенции, а $g()$ – функция, определяющая важность по следующим правилам:

- если критерий j относится к основным компетенциям роли i , то
Важность = Н

- если критерий j относится к вторичным компетенциям роли i , то:
 - если $УВК_{i,j} = Н$, то Важность = Н;
 - если $УВК_{i,j} = М$, то Важность = М;
 - Если $УВК_{i,j} = L$, то Важность = L;
- иначе Важность = L.

Для каждого ЛПР определяют их вторичные компетенции, выявленные на втором этапе. Позволит гибко распределять веса мнений ЛПР при оценке различных критериев.

Особое внимание уделяется учету вторичных компетенций ЛПР, выявленных на втором этапе алгоритма. Позволяет гибко распределять веса мнений ЛПР при оценке различных критериев, обеспечивая тонкую настройку степени значимости критериев для каждой роли.

Результатом этого этапа является полностью сформированная матрица «Критерии-ЛПР», где каждая ячейка содержит оценку важности конкретного критерия для определенной роли ЛПР. Матрица, вместе с назначенными весовыми коэффициентами ролей, становится ключевым инструментом для последующих этапов алгоритма, особенно при расчете интегральных показателей значимости критериев. Пример матрицы приведен в Таблице 8.

Таблица 8 – Критерии-ЛПР

Критерии/ЛПР	Руководство	Финансисты	Разработчики	Пользователи
Функциональность	Н	М	Н	Н
Стоимость	М	Н	L	L
Сроки	Н	Н	М	М
Удобство использования	М	L	Н	Н
Масштабируемость	Н	М	Н	М
Безопасность	Н	М	М	L

Сформированная матрица «Критерии-ЛПР» вместе с назначенными весовыми коэффициентами ролей будет использована на следующем шаге для расчета интегральных показателей значимости критериев.

Интеграция описанного алгоритма в общую структуру позволяет точно учитывать специфику проектной организации и компетенции участников процесса принятия решений, что повышает обоснованность и качество выбора оптимальной стратегии проектирования [35].

Алгоритм многокритериального анализа альтернатив является центральным элементом разработанного метода. Его цель – оценка и ранжирование альтернативных стратегий проектирования на основе интеграции методов МАИ, PROMETHEE и TOPSIS. Алгоритм обеспечивает всесторонний анализ альтернатив с учетом множества критериев и предпочтений различных ЛПР и включает в себя два ключевых этапа, которые позволяют получить обоснованные оценки эффективности различных стратегий проектирования.

Шаг 5: Анализ множества альтернатив.

На этом этапе алгоритма происходит детальный анализ альтернативных стратегий проектирования с использованием метода PROMETHEE. Данный шаг является ключевым в процессе выбора оптимальной стратегии, так как он позволяет учесть все критерии и предпочтения ЛПР в комплексной оценке альтернатив.

Процесс начинается с расчета обобщенных показателей предпочтения для каждой пары альтернатив по каждому критерию. Такие показатели вычисляются с учетом весовых коэффициентов ролей ЛПР, определенных на предыдущем этапе.

Математически выражается выражением:

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^m (P(a, b) \cdot w_j), \quad (8)$$

где $P(a, b)$ – степень предпочтения альтернативы a над альтернативой b по конкретному критерию, а w_j – весовой коэффициент соответствующей роли ЛПР, m – количество критериев.

Далее вычисляется интегральный показатель значимости для каждого критерия. Получившиеся показатели учитывают все попарные сравнения

альтернатив и отражает общую важность критерия в контексте всего множества альтернатив.

Расчет производится по выражению:

$$F(i) = \frac{1}{n \cdot (n-1) \cdot \sum_{a=1}^n \sum_{b=1, b \neq a}^n (\pi(a,b) - \pi(b,a))}, \quad (9)$$

где n – общее количество альтернатив а и b – индексы альтернатив, по которым производится попарное сравнение $\pi(a,b)$ – обобщенный показатель предпочтения альтернативы а над альтернативой b .

На основе интегральных показателей значимости вычисляются весовые коэффициенты критериев:

$$W_i = \frac{F(i)}{\sum_{j=1}^n F(j)}, \quad (10)$$

На выходе получаем интегральные показатели значимости $F(i)$ и весовые коэффициенты W_i для каждого критерия проектирования проекта, n – количество альтернатив.

Важно отметить, что метод PROMETHEE позволяет учесть не только количественные, но и качественные оценки критериев, что особенно ценно при анализе сложных проектных решений. Кроме того, метод способен работать с неполной информацией, что часто встречается в реальных проектных ситуациях.

Результатом этого этапа являются интегральные показатели значимости $\Phi(i)$ и весовые коэффициенты W_i для каждого критерия проектирования. Указанные показатели предоставляют комплексную оценку важности критериев, учитывающую как объективные характеристики проекта, так и субъективные предпочтения всех групп ЛПР.

Такой подход обеспечивает глубокий и всесторонний анализ альтернативных стратегий проектирования, позволяя выявить наиболее значимые критерии и создать основу для принятия обоснованного решения на следующем этапе алгоритма. Особенно важно в контексте сложных проектов,

где необходимо балансировать между множеством часто противоречивых требований и ограничений.

Шаг 6: Принятие решения.

Заключительный этап алгоритма фокусируется на окончательной оценке альтернативных стратегий проектирования и выборе оптимального решения. Для этого применяется метод TOPSIS, который позволяет ранжировать альтернативы на основе их близости к идеальному решению.

Процесс начинается с использования рассчитанных на предыдущем этапе интегральных показателей и, весовых коэффициентов. Для каждой альтернативы вычисляются расстояния до идеального положительного и идеального отрицательного решений. Расстояния определяются по формулам:

$$S_{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (W_j \cdot (X_{ij} - X_{j+})^2)}, \quad (11)$$

$$S_{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (W_j \cdot (X_{ij} - X_{j-})^2)}, \quad (12)$$

где W_j – весовой коэффициент j -го критерия, X_{ij} – оценка альтернативы по критерию, X_{j+} и X_{j-} – идеальные оценки, n – общее количество альтернатив.

Затем для каждой альтернативы рассчитывается относительный рейтинг приближения к идеальному решению:

$$R_i = \frac{S_{i-}}{S_{i+} + S_{i-}}, \quad (13)$$

Показатель отражает, насколько альтернатива близка к идеальному решению и далека от наихудшего. Чем выше значение R_i , тем лучше альтернатива.

Важно отметить, что метод TOPSIS позволяет учесть как количественные, так и качественные критерии, нормализуя их значения в процессе расчета. Метод обеспечивает комплексную оценку альтернатив, учитывающую все аспекты проекта.

Интеграция методов PROMETHEE и TOPSIS осуществляется путем использования результатов попарного сравнения альтернатив из метода PROMETHEE в качестве входных данных для расчета идеальных решений в

методе TOPSIS, что позволяет учесть как относительные предпочтения между альтернативами, так и их абсолютные оценки по отношению к идеальным решениям.

После расчета относительных рейтингов производится ранжирование альтернатив. Альтернатива с наибольшим значением R_i считается оптимальной и рекомендуется к выбору. Однако, окончательное решение принимается с учетом дополнительного анализа и обсуждения результатов с ключевыми заинтересованными сторонами.

Алгоритм формирования интеллектуальных рекомендаций завершает процесс анализа и обеспечивает генерацию обоснованных рекомендаций по выбору оптимальной стратегии проектирования. Алгоритм интегрирует результаты предыдущих этапов анализа с прогнозами модели машинного обучения, формируя комплексные предложения, учитывающие как явные, так и неявные факторы, влияющие на успех проекта.

Шаг 7: Формирование интеллектуальных рекомендаций

На основе результатов анализа и оценки альтернативных стратегий система формирует набор обоснованных рекомендаций для ЛПР. Рекомендации учитывают не только количественные показатели, но и качественные факторы, такие как стратегические цели организации, потенциальные риски и возможности развития.

Ключевым элементом алгоритма является интеграция модели машинного обучения на основе градиентного бустинга, обученной на исторических данных успешных проектов [22, 43, 73, 74]. Модель используется для повышения точности оценок и формирования релевантных рекомендаций.

Прежде чем перейти формированию рекомендаций требуется произвести расчет индекса риск-возможности (ИРВ), который позволяет количественно оценить баланс между потенциальными рисками и возможностями для каждой стратегии:

$$\text{ИРВ} = \frac{\sum_{j=1}^p V_j - \sum_{k=1}^q R_k}{m}, \quad (14)$$

где V_j – оценка j -й возможности, R_k – оценка k -го риска, m – общее количество оцененных рисков и возможностей, p – количество возможностей, q – количество рисков.

Оценка рисков и возможностей производится экспертным путем с использованием шкалы от 1 до 10, где 1 – минимальное значение, 10 – максимальное. Положительное значение ИРВ указывает на преобладание возможностей над рисками, отрицательное – на превалирование рисков.

Модель машинного обучения анализирует характеристики проекта, результаты многокритериального анализа и рассчитанные ИРВ для прогнозирования вероятности успеха каждой стратегии. На основе результатов многокритериального анализа и прогнозов модели машинного обучения система формирует набор обоснованных рекомендаций для ЛПР. Алгоритм концентрируется на топ-3 стратегиях, демонстрирующих наибольший потенциал успеха.

Причем, для каждой из этих стратегий формируются детальные рекомендации, включающие предлагаемые действия по реализации включают конкретные шаги и мероприятия, необходимые для успешного внедрения выбранной стратегии; меры по минимизации рисков основаны на идентификации потенциальных рисков и предложениям по их снижению или предотвращению.

Результаты анализа и рекомендации представляются в виде структурированной Таблицы 9, что обеспечивает удобство восприятия информации ЛПР.

По завершении анализа алгоритм генерирует аналитический отчет, содержащий описание рассмотренных стратегий, результаты анализа, прогнозы модели машинного обучения, обоснованные рекомендации и визуализацию результатов. Интеграция модели машинного обучения

позволяет учитывать неявные закономерности в данных и адаптировать рекомендации к специфике конкретной организации и отрасли.

Таблица 9 – Пример таблицы рекомендаций

Стратегия	Интегральный показатель	ИРВ	Рекомендации по реализации	Меры по минимизации рисков
Стратегия А	0.85	2.3	Сформировать проектную команду из экспертов отделов X и Y. Разработать детальный план реализации в течение 2 недель.	Провести дополнительное обучение персонала по технологии Z. Заключить договоры с резервными поставщиками.
Стратегия В	0.78	1.5	Провести пилотный проект в отделе А. Разработать план поэтапного внедрения.	Усилить контроль качества на этапах X и Y. Создать резерв бюджета в размере 15%.
Стратегия С	0.72	-0.8	Создать экспериментальную группу для тестирования. Разработать план управления рисками.	Привлечь внешних экспертов для оценки технологических рисков. Разработать альтернативные сценарии реализации.

Математически процесс модели градиентного бустинга описывается следующим образом:

$$F_M(x) = F_0(x) + \sum_{m=1}^M (v \cdot \gamma_m \cdot h_{m(x)}), \quad (15)$$

где $F_M(x)$ – итоговая модель после M итераций;

$F_0(x)$ – начальное приближение;

M – общее количество итераций;

v – параметр скорости обучения ($0 < v \leq 1$);

γ_m – множитель, определяющий вклад каждого дерева на m-й итерации;

$h_{m(x)}$ – базовая модель (дерево решений), обученная на псевдоостатках на m-й итерации.

В качестве функции ошибки для минимизации выбрана среднеквадратичная ошибка:

$$MSE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2, \quad (16)$$

где y_i – фактическое значение;

y'_i – предсказанное значение;

n – количество наблюдений.

Критерий расщепления при построении деревьев также основан на MSE, что обеспечивает согласованность оптимизации на всех уровнях модели.

Для обеспечения оптимального баланса между точностью и вычислительной сложностью установлены следующие параметры: количество итераций бустинга – 100, скорость обучения – 0.1, максимальная глубина деревьев – 6 уровней. Минимальное число объектов для расщепления установлено равным 10, а минимальное число объектов в листе – 5, что предотвращает переобучение модели и обеспечивает стабильность прогнозов.

Начальное приближение формируется как среднее значение целевой переменной:

$$F_o(x) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i), \quad (17)$$

где y_i – значения целевой переменной в обучающей выборке.

Указанный подход обеспечивает устойчивый старт процесса обучения.

На каждой итерации модель корректирует прогнозы, минимизируя функцию потерь и учитывая важность каждого признака через механизм градиентного спуска. Максимальное число конечных узлов не ограничивается явно, позволяя деревьям адаптироваться к структуре данных в пределах установленной максимальной глубины. Точность прогнозов повышается по мере накопления данных о реализованных проектах благодаря механизму дообучения модели на новых примерах.

Схема работы модели градиентного бустинга в контексте прогнозирования успешности стратегий проектирования представлена на Рисунке 7.

Интеграция модели градиентного бустинга в комплексный алгоритм позволяет учитывать неявные закономерности в исторических данных проектов и адаптировать рекомендации к специфике конкретной организации

и отрасли. По мере накопления данных о реализованных проектах модель постоянно обучается, что приводит к повышению точности прогнозов и качества формируемых рекомендаций.

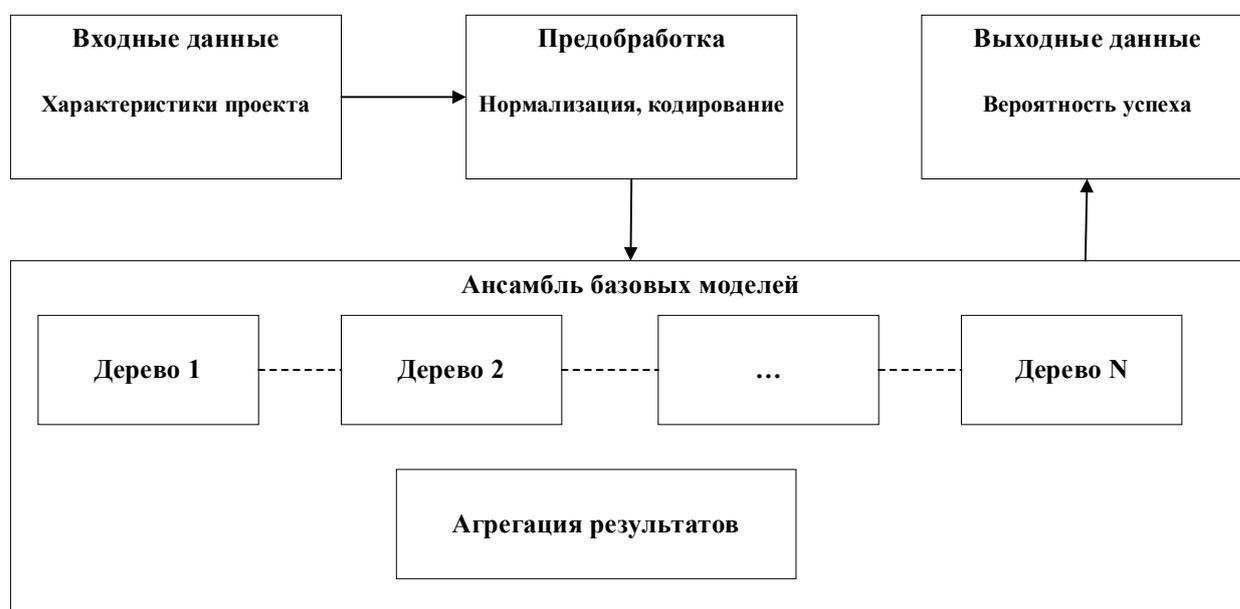


Рисунок 7 – Схема работы модели градиентного бустинга для прогнозирования успешности стратегий проектирования

Использование градиентного бустинга обосновано его способностью эффективно работать с разнородными данными, характерными для проектной деятельности, и выявлять сложные нелинейные зависимости между различными факторами, влияющими на успех проекта. Модель демонстрирует высокую точность прогнозирования даже при ограниченном объеме обучающих данных, что особенно важно на начальных этапах внедрения системы

Формирование интеллектуальных рекомендаций завершает процесс анализа и выбора оптимальной стратегии проектирования, предоставляя ЛПР всю необходимую информацию для принятия окончательного решения.

Описанный комплексный подход к принятию решений обеспечивает объективность и обоснованность выбора оптимальной стратегии проектирования. Он учитывает все критерии, мнения различных групп ЛПР и

позволяет найти наилучший компромисс между различными, часто противоречивыми требованиями проекта, что особенно ценно в контексте сложных проектных решений, где простые методы оценки могут не учесть всю многогранность проблемы.

Разработанный комплексный алгоритм обеспечивает комплексный, математически обоснованный подход к динамическому управлению входным набором критериев и выбору оптимальной стратегии проектирования. Интеграция методов МАИ, PROMETHEE и TOPSIS позволяет учесть множество факторов, мнения различных заинтересованных сторон и обеспечить обоснованность принимаемых решений в сложных проектных ситуациях.

Адаптивность алгоритма к изменяющимся условиям проектной среды и формирование интеллектуальных рекомендаций повышают его эффективность и практическую применимость в современных проектных организациях.

2.4 Комплексный алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений

Разработанный комплексный алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений представляет собой комплексный подход к решению сложных задач выбора в проектных организациях. Алгоритм выходит за рамки простых алгоритмических процедур и основывается на синтезе теории принятия решений, системного анализа и проектного управления [92].

Такой подход объединяет три ключевые области знаний:

теория принятия решений предоставляет математические модели и методы для выбора оптимальных решений в условиях неопределенности и множества критериев;

системный анализ обеспечивает комплексный подход к рассмотрению проблемы, учитывая взаимосвязи между различными элементами системы и их влияние на общий результат;

проектное управление привносит практические методики и инструменты для планирования, реализации и контроля проектов, учитывая ограничения по времени, ресурсам и качеству.

Синтез этих областей позволяет создать алгоритм, который не только математически обоснован, но и учитывает системную природу проектных задач и специфику управления проектами.

Ключевыми особенностями комплексного алгоритма являются:

адаптивность к специфике проекта и организационного контекста;

активное вовлечение всех заинтересованных сторон в процесс выбора стратегии;

учет неопределенности и рисков на всех этапах процесса;

интегрированная система управления знаниями для непрерывного совершенствования процесса.

Комплексный алгоритм базируется на принципе оптимизации выбора из множества альтернатив и концепции ограниченной рациональности Герберта Саймона, описанной в книге «Models of Men: Social and Rational», признавая возможность нахождения удовлетворительного, а не абсолютно оптимального решения. Такая концепция предполагает, что в реальных условиях принятия решений люди и организации не могут достичь абсолютной рациональности из-за ограниченности доступной информации, когнитивных ограничений лиц, принимающих решения, ограниченного времени для принятия решений.

Вместо поиска абсолютно оптимального решения, концепция предлагает искать «удовлетворительное» решение, которое достаточно хорошо отвечает требованиям ситуации. Такой подход особенно актуален в сложных проектных ситуациях, где полная оптимизация может быть невозможна или чрезмерно затратна.

Структура комплексного алгоритма включает несколько взаимосвязанных этапов:

1. Идентификация проблемы и постановка целей. На данном этапе происходит четкое определение проблемы, требующей решения, и формулировка целей проекта. Проводится анализ контекста проекта, включая организационные, технологические и рыночные факторы. Важно отметить, что комплексный алгоритм учитывает не только тактические задачи конкретного проекта, но и долгосрочные стратегические цели организации.

2. Формирование множества альтернатив. Этап включает генерацию широкого спектра альтернативных стратегий проектирования. Используются методы анализа аналогов, морфологического анализа и другие креативные техники. Особое внимание уделяется инновационным подходам и нестандартным решениям.

3. Определение критериев оценки. Формируется комплексная система критериев, учитывающая различные аспекты проекта: функциональные требования, технические характеристики, экономические показатели, риски, организационные факторы и др. Критерии структурируются в иерархию, что позволяет учесть их взаимосвязи и относительную важность.

4. Оценка альтернатив. Проводится многокритериальный анализ альтернатив с использованием интегрированного подхода, сочетающего методы МАИ, PROMETHEE и TOPSIS. Обеспечивает всестороннюю оценку каждой альтернативы с учетом всех критериев и предпочтений различных групп ЛПР.

5. Анализ чувствительности и рисков. Выполняется анализ чувствительности результатов к изменению весов критериев и входных данных. Проводится оценка рисков, связанных с каждой альтернативой, с использованием методов имитационного моделирования и сценарного анализа.

6. Принятие решения и его обоснование. На основе результатов анализа выбирается оптимальная стратегия проектирования. Процесс принятия

решения включает обсуждение результатов с ключевыми заинтересованными сторонами и формирование консенсуса.

7. Разработка плана реализации. Для выбранной стратегии разрабатывается детальный план реализации, включающий распределение ресурсов, временные рамки, ключевые этапы и метрики успеха.

Комплексный алгоритм предусматривает итеративный подход, позволяющий корректировать решения по мере поступления новой информации или изменения условий проекта. Реализация алгоритма поддерживается специально разработанным программным обеспечением, которое автоматизирует сложные вычисления и предоставляет удобные инструменты для визуализации и анализа результатов.

Структурная схема комплексного алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений представлена на Рисунке 8.

Комплексный алгоритм обеспечивает систематический подход к оценке и выбору оптимальных стратегий, учитывая множество факторов и интересов различных заинтересованных сторон, что критически важно для успеха современных проектных организаций.

Рассмотрим применение разработанного комплексного алгоритма на примере проекта автоматизированной системы мониторинга пожарной безопасности (АСМПБ) для МЧС России. На начальном этапе было выявлено 5 ключевых групп ЛПР: представители МЧС, технические эксперты, разработчики, эксперты по безопасности и представители эксплуатирующих подразделений.



Рисунок 8 – Структурная схема комплексного алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений

После проведения анкетирования и анализа компетенций была сформирована матрица компетенций ЛПР, представленная в Таблице 10.

Таблица 10 – Матрица компетенций ЛПР для проекта АСМПБ

Роль ЛПР	Основные компетенции	Уровень	Второстепенные компетенции	Уровень
Представители МЧС	Требования безопасности, нормативное соответствие	Н	Технические аспекты, эксплуатация	М
Технические эксперты	Архитектура систем, технологии мониторинга	Н	Нормативные требования, интеграция	М
Разработчики	Программно-аппаратная реализация	Н	Безопасность, стандарты МЧС	Л
Эксперты по безопасности	Пожарная безопасность, анализ рисков	Н	Системная архитектура	М
Представители эксплуатации	Обслуживание систем, операционные процессы	Н	Технические требования	М

На основе матрицы компетенций были рассчитаны весовые коэффициенты для групп ЛПР используя формулу (3):

Представители МЧС: 0,25

Технические эксперты: 0,23

Разработчики: 0,17

Эксперты по безопасности: 0,20

Представители эксплуатации: 0,15

Далее была построена матрица "Критерии-ЛПР", представленная Таблицей 11.

При анализе альтернативных стратегий использовался метод PROMETHEE. Для каждой пары альтернатив были рассчитаны обобщенные показатели предпочтения по формуле (8):

$$\pi(S_1, S_2) = 0,42; \pi(S_1, S_3) = 0,38; \pi(S_2, S_1) = 0,58; \pi(S_2, S_3) = 0,63;$$

$$\pi(S_3, S_1) = 0,62; \pi(S_3, S_2) = 0,37.$$

Интегральные показатели значимости, рассчитанные по формуле (9):
 $F(S_1) = 0,40; F(S_2) = 0,61; F(S_3) = 0,49.$

Таблица 11 – Матрица "Критерии-ЛПР" для проекта АСМПБ

Критерии/ЛПР	МЧС	Тех.эксперты	Разработчики	Эксперты безоп.	Эксплуатация
Надежность	Н	Н	М	Н	Н
Время реакции	Н	Н	Н	Н	М
Функциональность	М	Н	Н	М	М
Затраты	М	L	М	L	Н
Сроки	М	М	Н	М	М

На основе полученных результатов, алгоритм формирования интеллектуальных рекомендаций, используя модель градиентного бустинга, определил децентрализованную систему с распределенной архитектурой (S_2) как оптимальную стратегию, обеспечивающую:

Наивысший интегральный показатель значимости (0,61)

Лучшие показатели в попарных сравнениях ($\pi(S, S_1) = 0,58, \pi(S_2, S_3) = 0,63$)

Оптимальный баланс между требованиями различных групп ЛПР

Данный пример демонстрирует, как комплексный алгоритм обеспечивает систематический подход к выбору оптимальной стратегии проектирования с учетом мнений всех заинтересованных сторон и специфических требований предметной области.

Выводы по Главе 2

Во второй главе представлен комплексный подход к анализу и выбору оптимальных стратегий проектирования из множества альтернатив в проектных организациях. Разработан комплексный алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев, интегрирующий методы МАИ, PROMETHEE и TOPSIS, что позволяет эффективно решать сложные многокритериальные задачи в условиях неопределенности.

Ключевые результаты, полученные в данной главе, включают:

1. Разработку комплексного алгоритма, состоящего из трех взаимосвязанных алгоритмов: управления входным набором данных, многокритериального анализа альтернатив и формирования интеллектуальных рекомендаций.

2. Интеграцию модели машинного обучения на основе градиентного бустинга в алгоритм формирования интеллектуальных рекомендаций, что позволяет учитывать неявные закономерности в данных и повысить точность прогнозирования успешности стратегий.

3. Формирование математического подхода, описывающего в алгоритме процесс анализа и выбора стратегий, включая формулы для расчета весовых коэффициентов, интегральных показателей значимости критериев и оценки альтернатив.

4. Разработку схемы комплексного алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений, состоящей из 7 этапов и отражающей как последовательность процесса, так и его циклический характер.

Особое внимание в главе уделено интеграции различных методов многокритериального анализа и машинного обучения, что позволяет компенсировать недостатки отдельных подходов и использовать их сильные стороны. Так, метод МАИ обеспечивает структурированный подход к декомпозиции проблемы и определению весов критериев, PROMETHEE

позволяет учесть нелинейность предпочтений и провести детальное сравнение альтернатив, а TOPSIS предоставляет четкий механизм ранжирования на основе близости к идеальному решению. Включение модели градиентного бустинга обеспечивает адаптивность алгоритма к специфике конкретных проектов и организаций, повышая точность и релевантность формируемых рекомендаций.

Важным аспектом разработанного подхода является его адаптивность и гибкость. Комплексный алгоритм учитывает не только тактические задачи конкретного проекта, но и стратегические цели организации, что позволяет принимать более обоснованные долгосрочные решения. Кроме того, предусмотрены механизмы для учета мнений различных заинтересованных сторон и адаптации к изменяющимся условиям проекта.

Разработанный комплексный алгоритм обеспечивает подход к динамическому управлению входным набором критериев и интеллектуальной поддержки принятия решений, позволяя эффективно структурировать и анализировать сложные проектные ситуации. Особенно важно в современных условиях, характеризующихся высокой степенью неопределенности и быстрыми изменениями в технологической и бизнес-среде.

Результаты, представленные во второй главе, создают прочную основу для практической реализации предложенного подхода в реальных проектных организациях, что будет способствовать повышению эффективности и качества принимаемых решений при выборе стратегий проектирования.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРИ ВЫБОРЕ СТРАТЕГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

3.1 Обоснование необходимости математической модели оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования из множества альтернатив

Разработка модели оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования из множества альтернатив является логическим и необходимым продолжением исследования, опирающимся на алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев в проектных организациях, представленный во второй главе. Необходимость создания такой модели обусловлена комплексом факторов, характерных для современных проектных организаций, и отражает растущую сложность процессов принятия решений в условиях динамично меняющейся бизнес-среды [47, 61, 67, 115].

Современные проекты, реализуемые проектными организациями, отличаются беспрецедентной сложностью и многогранностью. Они выходят далеко за рамки чисто технических задач, охватывая широкий спектр организационных, экономических, социальных и даже экологических аспектов. Такая многоаспектность создает потребность в комплексном инструменте оценки, способном учесть все перечисленные факторы при выборе оптимальной стратегии проектирования. Современные подходы к оценке эффективности проектов и бизнес-процессов рассматриваются в исследованиях [112-114].

Исследование Яровой Т.В. и Плевако Е.Т. подтверждает эту тенденцию, отмечая, что современные проекты требуют интегрированного

подхода к оценке, учитывающего не только финансовые, но и нефинансовые показатели [119].

Авторы подчеркивают важность разработки комплексных моделей оценки, способных отразить многомерную природу проектной деятельности.

Особую сложность представляет необходимость количественной оценки качественных параметров [23, 24]. Многие критически важные аспекты проектов, такие как удовлетворенность пользователей, эстетические характеристики или совместимость с корпоративной культурой, трудно поддаются прямому количественному измерению. Однако их влияние на успех проекта может быть решающим. Разрабатываемая модель должна предоставлять механизмы для объективной оценки таких качественных параметров, обеспечивая их сопоставимость с традиционными количественными критериями.

Динамичность современной проектной среды создает дополнительные вызовы для процесса оценки эффективности стратегий проектирования. Условия реализации проектов могут меняться стремительно и непредсказуемо, что влечет за собой изменение относительной важности различных критериев оценки. Модель оценки эффективности должна обладать достаточной гибкостью, чтобы адаптироваться к изменениям и обеспечивать актуальную оценку стратегий в постоянно меняющихся условиях. Описанная ситуация подтверждается исследованиями, показывающими необходимость комплексного подхода к оценке эффективности стратегий, учитывающего как стратегические, так и оперативные аспекты деятельности предприятия [111].

Неопределенность является неотъемлемой характеристикой проектной деятельности, особенно на ранних стадиях проектирования. Часто решения приходится принимать в условиях неполной информации. Разрабатываемая модель должна включать механизмы работы с такой информацией, позволяя лицам, принимающим решения, делать обоснованный выбор даже при ограниченном объеме исходных данных.

В связи с указанным выше, исследователи подчеркивают необходимость разработки единого комплексного интегрального критерия оценки эффективности проектов, который позволял бы проводить априорные количественные оценки в условиях неопределенности на ранних стадиях проектирования, что особенно важно для принятия обоснованных решений при формировании долгосрочных стратегий [51].

Интеграция различных методов анализа представляет собой еще одну важную задачу при разработке модели. Алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений, представленный во второй главе, уже интегрирует методы МАИ, PROMETHEE и TOPSIS. Модель оценки эффективности должна органично дополнять этот алгоритм, обеспечивая комплексную оценку результатов, полученных с помощью различных аналитических подходов, что позволит получить более полную и объективную картину при сравнении альтернативных стратегий проектирования [18-20].

Стратегический аспект принимаемых решений также требует особого внимания при разработке модели. Выбор стратегии проектирования часто имеет долгосрочные последствия для организации, выходящие далеко за рамки конкретного проекта. Модель должна предоставлять инструменты для оценки не только краткосрочных, но и долгосрочных эффектов выбранной стратегии, поддерживая принятие стратегических решений на уровне всей организации.

Прозрачность и обоснованность принимаемых решений приобретают все большее значение в современных проектных организациях. Часто возникает необходимость обосновать выбранную стратегию перед различными заинтересованными сторонами - от инвесторов и высшего руководства до рядовых сотрудников и конечных пользователей. Модель оценки эффективности при выборе стратегии проектирования из множества альтернатив должна обеспечивать прозрачность процесса оценки и предоставлять четкие, понятные результаты, которые могут быть использованы для обоснования принятых решений.

Оптимизация использования ресурсов является еще одним важным аспектом, который необходимо учитывать при разработке модели. Проектные организации часто работают в условиях ограниченных ресурсов – финансовых, временных, человеческих. Модель оценки эффективности, качества и надежности при выборе стратегии проектирования из множества альтернатив должна помогать оптимизировать использование доступных ресурсов, оценивая эффективность различных стратегий с точки зрения соотношения затрат и результатов.

Учет специфики различных типов проектов представляет собой отдельную задачу при разработке модели. Проектные организации могут работать над широким спектром проектов – от разработки программного обеспечения до создания сложных технических систем или реализации масштабных инфраструктурных проектов [81]. Модель должна быть достаточно универсальной, чтобы адаптироваться к специфике различных типов проектов, сохраняя при этом свою эффективность и релевантность.

Наконец, важным аспектом является интеграция разрабатываемой модели с существующими системами управления проектами. Для обеспечения практической применимости модель оценки эффективности должна быть совместима с уже используемыми в организации инструментами и процессами управления проектами. Что позволит органично встроить новую модель в существующие бизнес-процессы, повысив эффективность ее применения.

Схема влияния, изображенная на Рисунке 9, наглядно представляет ключевые факторы, влияющие на эффективность стратегии проектирования, и их взаимосвязи.

В центре диаграммы находится основной элемент – «Эффективность стратегии», который является целевым показателем оценки.

Вокруг центрального элемента расположены четыре основные категории факторов:

1. технические параметры: включают в себя производительность и надежность системы;

2. экономические показатели: охватывают возврат инвестиций (ROI) и общую стоимость владения (ТСО);
3. организационные аспекты: включают управление проектом и коммуникации внутри команды;
4. риски: разделены на технические риски и бизнес-риски.

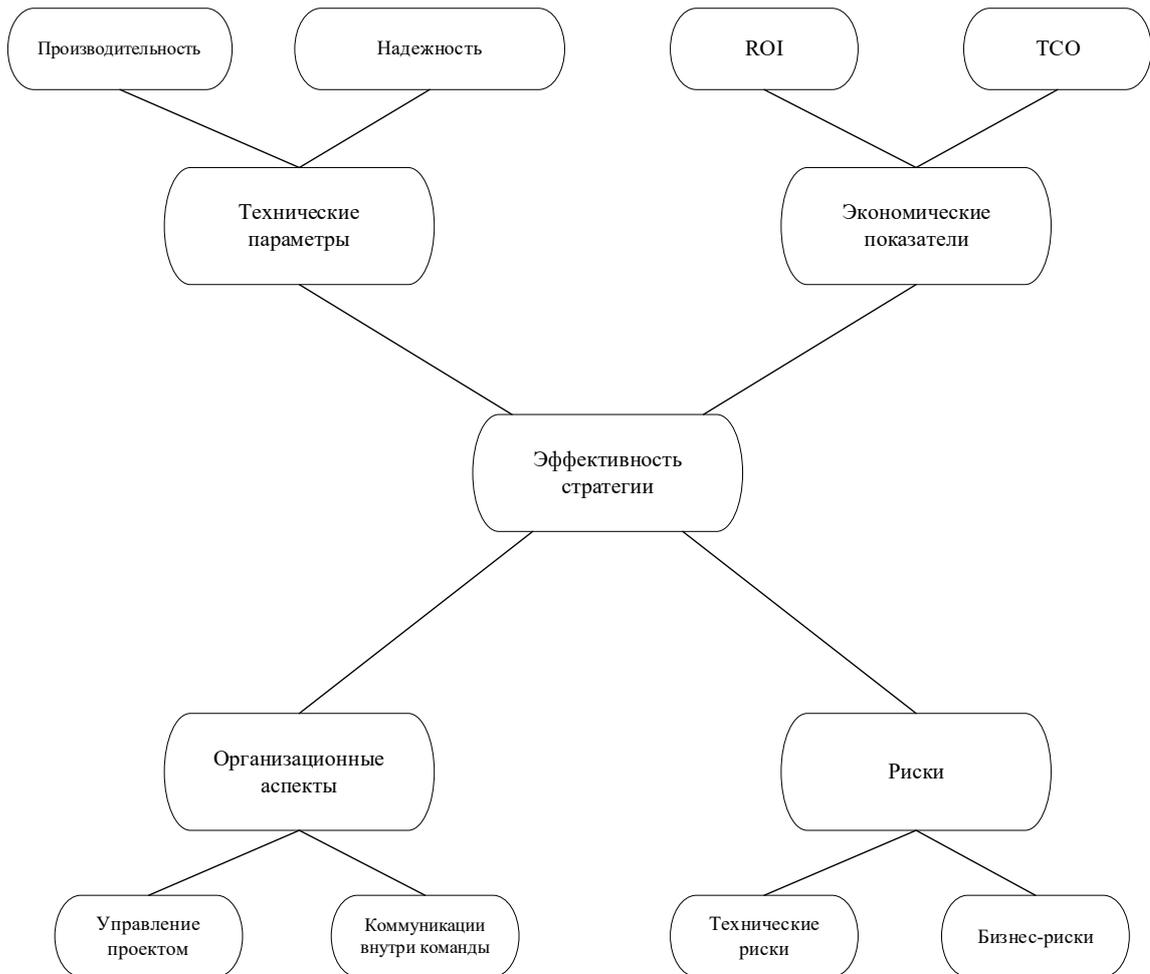


Рисунок 9 – Схема влияния факторов на эффективность стратегии проектирования

Каждая из перечисленных категорий связана с центральным элементом, что отражает их прямое влияние на эффективность стратегии. Подфакторы в каждой категории также связаны с соответствующим основным фактором, демонстрируя иерархическую структуру оценки.

Разработка математической модели оценки эффективности и качества выбора стратегии проектирования является важным шагом в совершенствовании процессов принятия решений в современных проектных организациях. Необходимость такой модели обусловлена комплексом факторов, включая растущую сложность проектов, многоаспектность критериев оценки, динамичность проектной среды и потребность в объективном инструменте для сравнения альтернативных стратегий. Предлагаемая модель призвана интегрировать различные методы анализа, учитывать качественные и количественные параметры, а также обеспечивать гибкость и адаптивность к специфике различных типов проектов. Её внедрение позволит проектным организациям повысить обоснованность принимаемых решений, оптимизировать использование ресурсов и, в конечном итоге, увеличить вероятность успешной реализации проектов в условиях высокой неопределенности и конкуренции. Разработка такой модели представляет собой логическое продолжение исследования, опирающееся на метод интеллектуальной поддержки принятия решений, и открывает новые возможности для повышения эффективности проектной деятельности в целом.

3.2 Структура математической модели оценки эффективности и качества

Разработанная модель оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования представляет собой комплексную систему, состоящую из взаимосвязанных компонентов. В основе разработанной модели лежит комплексный подход к оценке эффективности стратегий проектирования, базирующийся на интегральном показателе эффективности. Математическая модель включает три взаимосвязанных компонента, таких как входные параметры модели, процесс обработки данных и выходные

параметры, позволяющие обеспечить полный цикл анализа и выбора оптимальной стратегии проектирования.

3.2.1 Входные параметры модели

Выбор и структурирование входных параметров модели оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования являются важными этапами, определяющими точность и релевантность результатов анализа. В рамках данного исследования предлагается следующий набор входных параметров:

1. Множество альтернативных стратегий проектирования:

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}, \quad (18)$$

где n – количество рассматриваемых альтернативных стратегий. Каждая стратегия S_i представляет собой комплексное описание подхода к реализации проекта, включающее технические, организационные и экономические аспекты. Стратегии могут различаться по используемым технологиям, методологиям управления, распределению ресурсов и другим параметрам.

Включение полного множества альтернативных стратегий необходимо для обеспечения комплексного анализа и выбора оптимального решения. Каждая стратегия S_i представляет собой комплексное описание подхода к реализации проекта, включающее технические, организационные и экономические аспекты. Такой подход позволяет учесть многогранность проектных решений и обеспечить всестороннее сравнение альтернатив.

2. Набор критериев эффективности:

$$K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}, \quad (19)$$

где m – количество критериев оценки.

Многокритериальный подход к оценке эффективности обусловлен сложностью и многоаспектностью современных проектов. Критерии охватывают различные аспекты проекта, включая технические параметры

(производительность, масштабируемость, надежность), экономические показатели (стоимость реализации, ROI, TCO), временные характеристики (сроки реализации, время выхода на рынок), качественные параметры (удовлетворенность пользователей, соответствие требованиям), риски (технологические, финансовые, организационные).

Выбор данного набора критериев эффективности согласуется с современными исследованиями в области многокритериального анализа. В частности, Путивцева Н.П. своей работе по сравнительному анализу многокритериальных методов выделяют аналогичные группы критериев, подчеркивая необходимость учета технических, экономических, временных, качественных параметров, а также факторов риска при оценке альтернативных решений [89, 90].

Такой широкий спектр критериев позволяет учесть все ключевые факторы, влияющие на успех проекта, и обеспечить сбалансированную оценку альтернатив.

3. Весовые коэффициенты критериев:

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}, \quad (20)$$

где w_i - вес i -го критерия, причем $\sum w_i = 1$.

Введение весовых коэффициентов обусловлено необходимостью учета различной значимости критериев в контексте конкретного проекта и организации. Ограничение $\sum w_i = 1$ обеспечивает нормализацию весов и позволяет интерпретировать их как доли от общей значимости всех критериев. Такой подход соответствует принципам теории принятия решений и обеспечивает математическую корректность модели.

4. Ограничения по ресурсам и нормативным требованиям:

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_p\}, \quad (21)$$

где p – количество ограничений.

Ограничения могут включать бюджетные лимиты, временные рамки проекта, доступность человеческих ресурсов, нормативные и законодательные требования, технологические ограничения

Выбор именно перечисленных входных параметров обусловлен необходимостью обеспечить баланс между полнотой описания проектной ситуации и вычислительной сложностью модели. Включение ограничений по ресурсам и нормативным требованиям в модель оценки эффективности согласуется с современными подходами к многокритериальной оптимизации в области разработки сложных систем. Аристова Е.М. в своем исследовании выделяют аналогичные группы ограничений, подчеркивая их важность для формирования множества допустимых решений и обеспечения практической реализуемости выбранных стратегий [2].

Предложенная структура входных данных позволяет учесть все ключевые аспекты проекта, при этом оставаясь достаточно гибкой для адаптации к специфике различных проектных организаций и типов проектов.

Предложенный набор входных параметров создает прочную основу для комплексной оценки эффективности стратегий проектирования, учитывая многообразие факторов, влияющих на успех проекта, и обеспечивая возможность адаптации модели к различным проектным контекстам.

3.2.2 Процесс обработки данных

Процесс обработки данных в модели представляет собой последовательность этапов, направленных на комплексную оценку альтернативных стратегий проектирования. Он включает в себя:

1. Нормализация исходных показателей.

На этом этапе происходит приведение разнородных критериев к единой шкале для обеспечения их сопоставимости. Применяются методы линейного масштабирования или другие подходящие техники нормализации.

2. Расчет интегрального показателя эффективности.

Для каждой стратегии вычисляется интегральный показатель эффективности, который учитывает все ключевые аспекты проекта. Показатель объединяет финансовые затраты, временные ресурсы и качественные характеристики проекта. При расчете используются весовые коэффициенты, отражающие относительную важность каждого из аспектов для конкретного проекта и организации. Цель заключается в минимизации этого интегрального показателя, что соответствует выбору наиболее эффективной стратегии.

3. Применение модели машинного обучения.

Использование алгоритма градиентного бустинга для анализа исторических данных и прогнозирования вероятности успеха каждой стратегии. Модель учитывает как явные характеристики проекта, так и неявные закономерности, выявленные в ходе обучения на предыдущих проектах.

4. Учет ограничений и неопределенностей.

На этом этапе проводится проверка соответствия каждой стратегии заданным ограничениям.

5. Анализ чувствительности результатов.

Проводится оценка устойчивости полученных результатов к изменению входных параметров, что позволяет выявить критические факторы, наиболее сильно влияющие на эффективность стратегий.

6. Сравнительный анализ альтернативных стратегий.

Выполняется многокритериальное сравнение стратегий с использованием методов PROMETHEE и TOPSIS, интегрированных в единый аналитический процесс.

3.2.3 Выходные параметры модели

Выходные параметры модели представляют собой результаты анализа, на основе которых принимается решение о выборе оптимальной стратегии проектирования. Они включают:

1. Интегральные показатели эффективности для каждой стратегии:

$$Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}, \quad (22)$$

где Z_i – интегральный показатель эффективности i -й стратегии.

2. Ранжированный список стратегий проектирования.

Стратегии упорядочиваются по убыванию их эффективности, что позволяет наглядно представить их сравнительные преимущества.

3. Оптимальная стратегия S^* .

Определяется как стратегия с наилучшим интегральным показателем эффективности среди всех рассматриваемых альтернатив. При этом учитываются заданные ограничения по ресурсам и другим параметрам проекта. Оптимальная стратегия должна обеспечивать наилучший баланс между эффективностью и соблюдением всех установленных ограничений. Этот подход позволяет выбрать стратегию, которая не только наиболее эффективна теоретически, но и реализуема в рамках имеющихся возможностей и ограничений проекта.

4. Рекомендации по оптимизации управляющих воздействий.

Формируются на основе анализа чувствительности и сравнительного анализа стратегий. Включают предложения по корректировке параметров проекта для повышения его эффективности.

Формализованное представление модели можно выразить следующим образом:

$$M: (S, K, W, R) \rightarrow (Z, S^*), \quad (23)$$

где M – оператор модели, преобразующий входные параметры в выходные.

Структура модели, изображенная на Рисунке 10, обеспечивает комплексный подход к оценке эффективности стратегий проектирования, учитывая множество факторов и их взаимосвязи.

В качестве инструментов исследования использованы методы системного анализа, математического моделирования, теории принятия решений и экспертных оценок.



Рисунок 10 – Модель оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования

Она позволяет не только выбрать оптимальную стратегию, но и предоставить обоснование этого выбора, что критически важно для принятия решений в проектных организациях.

Модель также обладает гибкостью и масштабируемостью, что позволяет адаптировать её к специфике различных типов проектов и организационных контекстов. Интеграция различных методов анализа (МАИ, PROMETHEE, TOPSIS) в единую структуру обеспечивает всесторонний подход к оценке стратегий, сочетая преимущества каждого метода.

В заключение стоит отметить, что разработанная структура модели оценки эффективности и качества представляет собой мощный инструмент поддержки принятия решений в проектных организациях. Она позволяет систематизировать процесс выбора стратегии проектирования, повысить объективность оценки и обеспечить обоснованность принимаемых решений в

условиях многокритериальности и неопределенности, характерных для современных проектов.

3.3 Интегральный показатель эффективности

Интегральный показатель эффективности является ключевым элементом разработанной модели оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования. Указанный показатель представляет собой комплексную метрику, которая агрегирует различные аспекты оценки проектных решений в единое числовое значение, позволяющее сравнивать и ранжировать альтернативные стратегии [61].

Концепция интегрального показателя эффективности основана на принципах многокритериальной оптимизации и теории принятия решений. Куимова Е.И. и Рябов Д.А. в своей работе «Многокритериальные задачи оптимизации» подчеркивают важность комплексного подхода к оценке эффективности в многокритериальных задачах. Авторы отмечают, что "интегральный показатель позволяет учесть взаимосвязи между различными критериями и обеспечить более объективную оценку альтернатив" [52].

Концепция интегрального показателя эффективности разработана с целью обеспечить всестороннюю оценку каждой стратегии проектирования, учитывая множество разнородных факторов. Он объединяет три ключевых аспекта проектной деятельности:

1. финансовые затраты (F);
2. временные ресурсы (L);
3. качество результатов (Q).

Выбор трех ключевых аспектов согласуется с концепцией «тройственной ограниченности» в управлении проектами. Описанная концепция широко признана в проектном менеджменте и описана, например,

в работе Подоплеловой Е.С. «Анализ методов многокритериального принятия решений на примере задачи ранжирования» [77].

Математическое выражение интегрального показателя эффективности имеет следующий вид:

$$Z = \alpha \cdot F + \beta \cdot L + \gamma \cdot Q \rightarrow \min, \quad (24)$$

где Z – интегральный показатель эффективности;

F – нормализованный показатель финансовых затрат;

L – нормализованный показатель затраты времени;

Q – нормализованный показатель качества;

α, β, γ – весовые коэффициенты, отражающие относительную важность каждого из критериев.

Критерий оптимизации заключается в минимизации интегрального показателя Z .

Математическое выражение интегрального показателя эффективности и использование весовых коэффициентов находят поддержку в исследовании Масляева М.А. и Хватова А.А. Авторы подчеркивают эффективность использования взвешенной суммы критериев для многокритериальной оптимизации [95].

Для приведения разнородных показателей к единой шкале измерения применяется линейная min-max нормализация. Данный метод нормализации выбран как наиболее подходящий для сравнения показателей с различными единицами измерения, поскольку он сохраняет все отношения между исходными данными и преобразует все значения в диапазон $[0,1]$, что упрощает их дальнейшее агрегирование в интегральный показатель.

Нормализация показателей производится по формуле (25).

$$F = \frac{F - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}}, \quad (25)$$

где F_{\min}, F_{\max} – минимальные и максимальные значения финансовых затрат среди всех альтернатив. Для показателя L формулы используются аналогичные.

Особенностью интегрального показателя эффективности Z является то, что показатель качества Q требует специальной обработки, поскольку, в отличие от финансовых и временных затрат, которые необходимо минимизировать, качество системы должно быть максимальным. Для обеспечения согласованности с общей логикой минимизации интегрального показателя, показатель качества преобразуется таким образом, чтобы отражать степень отклонения от идеального качества. После нормализации полученное значение вычитается из единицы, что обеспечивает корректный вклад в оптимизацию – чем выше фактическое качество системы, тем ближе показатель Q к нулю, что соответствует минимизации интегрального показателя Z .

$$Q = 1 - \frac{Q - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}}, \quad (26)$$

где Q_{min} , Q_{max} – минимальные и максимальные значения показателя качества среди всех альтернатив.

Для весовых коэффициентов устанавливаются следующие ограничения:

$$\begin{cases} \alpha + \beta + \gamma = 1 \\ \alpha, \beta, \gamma \geq 0 \end{cases} \quad (27)$$

Такой подход обеспечивает нормализацию весов и позволяет интерпретировать их как доли влияния каждого аспекта на общую оценку эффективности.

Нормализация показателей и установление ограничений для весовых коэффициентов соответствуют принципам, изложенным в работе Клименко И.С. Автор отмечает, что "нормализация обеспечивает сопоставимость разнородных критериев и позволяет корректно агрегировать их в интегральный показатель" [48].

Компонент финансовых затрат (F) отражает все финансовые аспекты реализации стратегии проектирования. Он может включать прямые затраты на разработку и внедрение, косвенные затраты, связанные с организационными

изменениями, и долгосрочные финансовые последствия (ТСО – Total Cost of Ownership).

Компонент временных ресурсов (L) учитывает временные аспекты реализации стратегии, включая длительность процесса разработки, время на внедрение и адаптацию, а также скорость достижения ключевых вех проекта.

Компонент качества результатов (Q) оценивает качественные характеристики результатов проекта, такие как функциональность разрабатываемой системы, надежность и производительность, удовлетворенность пользователей, соответствие техническим и бизнес-требованиям [6].

В модели вводятся весовые коэффициенты α , β и γ , которые отражают относительную важность каждого из основных аспектов эффективности проекта: финансовых затрат, временных ресурсов и качества соответственно [63].

Рассмотренные коэффициенты позволяют настраивать модель в соответствии с приоритетами конкретного проекта или организации. Например, если для организации ключевым фактором является соблюдение бюджета, то коэффициент α будет иметь наибольшее значение. В случае, когда основной акцент делается на качестве конечного продукта, то наибольшим будет коэффициент γ . Сумма этих коэффициентов всегда равна 1, что обеспечивает нормализацию оценки.

Коэффициенты α и β определяются на основе экспертных оценок с применением метода анализа иерархий и учетом исторических данных успешно завершенных проектов организации. Эксперты проводят попарные сравнения критериев, строят матрицы парных сравнений, а полученные векторы приоритетов усредняются, нормализуются и принимаются в качестве искомых коэффициентов. Коэффициент γ рассчитывается автоматически согласно формуле 27.

Для обеспечения сопоставимости разнородных показателей F, L и Q проводится их нормализация. Такой подход позволяет привести все

показатели к единой шкале измерения. Процесс нормализации может быть реализован различными способами, например, через линейное масштабирование или Z-нормализацию.

Интерпретация интегрального показателя эффективности Z происходит следующим образом:

- Чем меньше значение Z , тем эффективной считается стратегия проектирования.
- Стратегия с минимальным значением Z при соблюдении всех ограничений считается оптимальной.
- Разница в значениях Z между стратегиями отражает относительное преимущество одной стратегии над другой.

Для оценки устойчивости результатов и выявления критических факторов проводится анализ чувствительности интегрального показателя к изменению весовых коэффициентов и исходных данных [78].

Такой подход позволяет определить, насколько чувствителен выбор оптимальной стратегии к небольшим изменениям в оценках или приоритетах, выявить критические параметры, оказывающие наибольшее влияние на итоговую оценку, и оценить робастность полученных результатов.

Использование анализа чувствительности для оценки устойчивости результатов находит подтверждение в исследовании Гаврилова А.В. Автор подчеркивает важность анализа чувствительности для "выявления критических параметров и оценки надежности полученных решений в условиях неопределенности" [31].

Важной особенностью разработанного интегрального показателя является его адаптивность. В ходе реализации проекта приоритеты и условия могут меняться, что требует соответствующей корректировки модели. Для учета этой динамики предусмотрен механизм адаптивной корректировки весовых коэффициентов.

Коррекция производится на каждом временном шаге t по формуле:

$$\alpha(t) = \alpha(t - 1) + \Delta\alpha(t), \quad (28)$$

где $\alpha(t)$ – значение коэффициента на текущем шаге, $\alpha(t-1)$ – значение на предыдущем шаге, $\Delta\alpha(t)$ - величина корректировки.

Величина корректировки определяется на основе отклонения фактических показателей от плановых:

$$\Delta\alpha(t) = k \cdot \left(\frac{F_{\text{факт}} - F_{\text{план}}}{F_{\text{план}}} \right), \quad (29)$$

где k – коэффициент чувствительности, $F_{\text{факт}}$ и $F_{\text{план}}$ – фактическое и плановое значения соответствующего показателя.

Механизм адаптивной корректировки весовых коэффициентов соответствует принципам адаптивного управления, описанным в работе Старцевой Е.Б., Никулиной Н.О. и Малаховой А.И. Авторы отмечают, что "адаптивность модели принятия решений критически важна в динамичной среде современных проектов" [68].

Для обеспечения стабильности модели вводятся ограничения на максимальную величину корректировки и проводится нормализация коэффициентов после каждого изменения, чтобы сохранялось условие $\alpha + \beta + \gamma = 1$ [64].

Применение механизма динамической корректировки весовых коэффициентов позволяет модели гибко реагировать на изменения в ходе проекта. Данный подход эффективен в контексте проектных организаций, работающих в условиях высокой неопределенности и быстро меняющихся требований. Такой подход обеспечивает точную и актуальную оценку эффективности стратегий проектирования на всех этапах жизненного цикла проекта.

Эта функция позволяет комплексно оценивать и оптимизировать процессы проектирования и внедрения сложных систем, обеспечивая сбалансированный подход к управлению финансовыми ресурсами, временем и качеством.

Разработанная модель оценки эффективности и качества, включающая интегральный показатель эффективности и механизмы поддержки принятия

решений, обеспечивает комплексный подход к анализу и сравнению альтернативных стратегий проектирования. Однако для окончательного выбора оптимальной стратегии необходимо учесть не только значения интегрального показателя, но и ресурсные ограничения проекта [95].

С этой целью вводится критерий выбора оптимальной стратегии, который позволяет найти наилучшее решение в рамках имеющихся ресурсов.

Оптимальная стратегия S^* определяется как:

$$S^* = \operatorname{argmin}\{Z(S_i) \mid S_i \in S, R(S_i) \leq R_{\max}\}, \quad (30)$$

где $R(S_i)$ – ресурсные затраты для стратегии S_i , R_{\max} – максимально допустимые ресурсные затраты.

Данное выражение определяет оптимальную стратегию S^* как элемент множества S , обеспечивающий минимальное значение интегрального показателя эффективности $Z(S_i)$. При этом учитывается ключевое ограничение: ресурсные затраты $R(S_i)$ для выбранной стратегии не должны превышать установленный предел R_{\max} . Таким образом, формула математически описывает поиск наиболее эффективного решения в рамках заданных ресурсных ограничений, что отражает практические реалии проектного управления.

Интегральный показатель эффективности представляет собой мощный и гибкий инструмент для комплексной оценки стратегий проектирования. Он позволяет учесть множество факторов, обеспечивает прозрачность процесса оценки и поддерживает принятие обоснованных решений в условиях многокритериальности и неопределенности, характерных для современных проектных организаций.

Рассмотрим применение разработанной модели оценки эффективности качества на примере того же проекта АСМПБ. Для оценки эффективности стратегий проектирования были установлены следующие ограничения проекта, представленные в Таблице 12.

Таблица 12 – Ограничения проекта АСМПБ

Параметр	Значение
Максимальный бюджет	15 млн руб
Срок реализации	не более 9 месяцев
Минимальная надежность	не менее 7 баллов
Время реакции	не более 5 секунд

На основе экспертных оценок и технико-экономического анализа определены значения входных параметров для каждой стратегии, представленные в таблице 13.

После применения модели с весовыми коэффициентами $\alpha = 0,3$, $\beta = 0,35$, $\gamma = 0,35$, определенными методом экспертных оценок, получены значения интегрального показателя эффективности: $Z(S_1) = 0,5875$, $Z(S_2) = 0,2375$, $Z(S_3) = 0,61075$.

Таблица 13 – Значения критериев для альтернативных стратегий

Критерии	S ₁	S ₂	S ₃
Капитальные затраты, млн. руб.	6.8	5.2	5.9
Операционные расходы, млн. руб./год	1.2	1.8	1.4
Сроки развертывания, мес.	8	6	7
Время реакции системы, сек.	5	2	3
Функциональность, баллы	8	7	9
Надежность, баллы	7	8	9

Оптимальной определена стратегия S₂, которая полностью удовлетворяет установленным ограничениям:

общие затраты 7.0 млн руб. < 15 млн руб.;

срок реализации 6 мес. < 9 мес.;

надежность 8 баллов > 7 баллов;

время реакции 2 сек < 5 сек.

Данный пример демонстрирует практическое применение разработанной модели для решения реальных задач проектирования систем с повышенными требованиями к надежности и безопасности.

3.4 Критерии эффективности и их компоненты

В рамках разработанной модели оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования из множества альтернатив предложен всесторонний набор критериев, охватывающий различные аспекты проекта.

Ключевые критерии эффективности и их компоненты представлены в следующей Таблице 14.

Перечисленный набор критериев основан на анализе существующих подходов и исследований в области системного анализа, управления проектами и принятия решений.

Каждый из критериев имеет свое обоснование и подтверждается исследованиями в соответствующих областях [51, 103, 130, 131, 135]:

Соответствие функциональным требованиям. Критерий важен для удовлетворения потребностей пользователей. Его значимость подтверждается исследованиями Томаса Л. Саати в области анализа иерархий и принятия решений.

В контексте разработанной модели, F отражает расходы на обеспечение функциональности, L – время внедрения, а Q – качество реализации.

Удовлетворенность пользователей. Является ключевым фактором успеха системы согласно работам Дональда Нормана по проектированию пользовательских интерфейсов, а также исследованиям аналитических компаний Gartner и Forrester. В модели F включает затраты на улучшение пользовательского опыта, L – время внедрения улучшений, а Q – уровень удовлетворенности.

Таблица 14 – Критерии эффективности и их компоненты

Критерий	Описание	Компоненты
Соответствие функциональным требованиям	Степень реализации заявленного функционала и соответствия бизнес-процессам	Полнота реализации функционала Соответствие бизнес-процессам заказчика Масштабируемость и расширяемость
Удовлетворенность пользователей	Уровень удовлетворенности конечных пользователей проектируемой системы	Удобство использования интерфейса Доступность поддержки и документации
Затраты на проект	Общие затраты на реализацию проекта, включая начальные и операционные расходы	Начальные капитальные вложения Операционные расходы Затраты на внедрение и интеграцию Стоимость сопровождения и модернизации
Сроки реализации	Время, необходимое для завершения проекта	Соблюдение установленных дедлайнов Согласование темпов разработки с заказчиком
Производительность системы	Показатели производительности и масштабируемости системы	Скорость обработки данных и транзакций Масштабируемость производительности
Соответствие нормативным требованиям	Соответствие системы нормативным требованиям и стандартам безопасности	Соблюдение отраслевых стандартов Обеспечение информационной безопасности Защита персональных данных
Совместимость с инфраструктурой	Возможность интеграции системы с существующими решениями и технологиями	Интеграция с существующими системами Соответствие техническим стандартам организации
Гибкость	Способность системы адаптироваться к изменениям требований и условий	Модульность архитектуры Возможность настройки без перепрограммирования
Риски	Идентификация и управление потенциальными рисками, связанными с проектом	Технические риски Организационные риски Финансовые риски
Вовлеченность заказчика	Уровень участия и удовлетворенности заказчика	Частота и качество коммуникаций Учет обратной связи от заказчика

Затраты на проект. Включают начальные и операционные расходы. Важность этого критерия подтверждается исследованиями Гарольда Керцнера в области управления проектами.

В модели F представляет общие финансовые затраты, L – время завершения проекта в рамках бюджета, а Q – эффективность использования ресурсов.

Сроки реализации. Критичны для достижения бизнес-целей, что подтверждается стандартами Project Management Institute (PMI) и руководством PMBOK.

В модели F отражает затраты на ускорение/замедление, L – фактическое время реализации, а Q – своевременность и минимизацию задержек.

Производительность системы. Влияет на эксплуатационные характеристики, что подтверждается работами Дж. Ливингстона по оценке производительности информационных систем. В модели F представляет расходы на оптимизацию, L – время достижения нужного уровня, а Q – качество работы системы.

Соответствие нормативным требованиям. Необходимо для обеспечения безопасности и надежности, что подтверждается стандартами ISO/IEC и рекомендациями NIST.

В модели F отражает затраты на соответствие, L – время выполнения требований, а Q – качество соблюдения стандартов.

Для наглядного представления взаимосвязи между ключевыми аспектами оценки проектных стратегий разработана FLQ-схема (Финансы-Время-Качество), представленная на Рисунке 11.

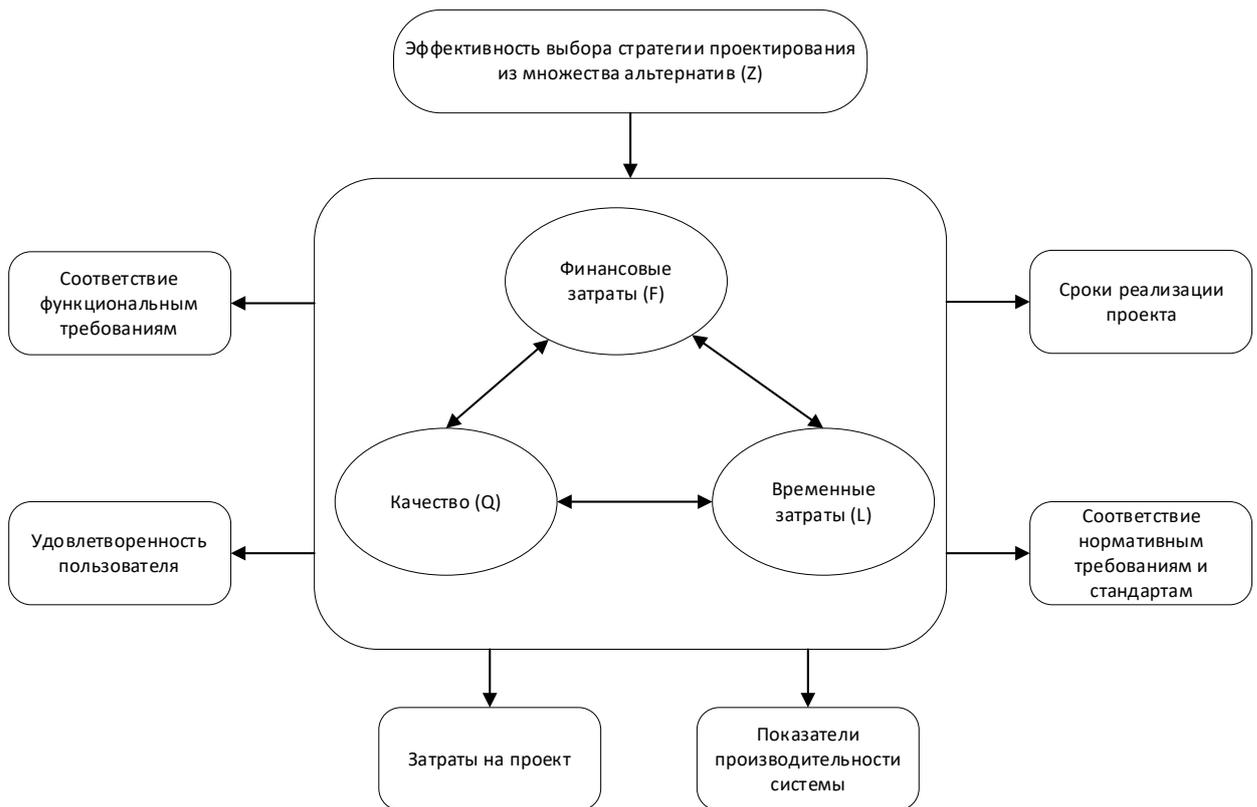


Рисунок 11 – FLQ-схема оценки проектных стратегий

Схема иллюстрирует, как различные критерии эффективности соотносятся с тремя основными измерениями проектного управления: финансовыми затратами (F), временными ресурсами (L) и качеством результатов (Q).

FLQ-схема демонстрирует комплексный подход к оценке проектных стратегий, учитывающий баланс между затратами, сроками и качеством. Каждый критерий эффективности может быть оценен с точки зрения его влияния на три ключевых аспекта.

Интерпретация результатов оценки по приведенным критериям включает визуализацию данных, глубокий анализ и формулирование выводов, а также разработку практических рекомендаций по улучшению. Для достижения консенсуса среди экспертов при оценке качественных критериев может использоваться метод Делфи.

Такой подход значительно упрощает процесс анализа и принятия решений, позволяет выявлять ключевые тенденции и отклонения,

обосновывает принятые решения и предлагает конкретные пути решения выявленных проблем.

Предложенный набор критериев и подход к их оценке обеспечивает всестороннюю оценку стратегий проектирования, учитывая различные аспекты проектной деятельности. Что позволяет принимать обоснованные решения при выборе оптимальной стратегии, балансируя между различными, часто противоречивыми требованиями и ограничениями проекта.

3.5 Шкалы оценки критериев

Шкалы оценки критериев играют ключевую роль в процессе оценки эффективности стратегий проектирования, обеспечивая единообразие и сопоставимость оценок различных аспектов проекта, что критически важно для объективного сравнения альтернативных стратегий.

В разработанной модели используются различные типы шкал, включая количественные (абсолютные и относительные значения), качественные (порядковые и балльные), бинарные (да/нет или 0/1) и лингвистические шкалы.

Для обеспечения единообразия и удобства сравнения в модели предлагается использовать унифицированную десятибалльную шкалу для большинства критериев. Эта шкала разделена на три основных уровня: низкий (1-3), средний (4-7) и высокий (8-10) [69].

Применение этой шкалы адаптируется для различных групп критериев, таких как функциональные, экономические, временные, качественные, риски, организационные и технологические.

Рассмотрим применение этой шкалы для различных групп критериев:

Соответствие функциональным требованиям:

1-3: низкое соответствие (менее 60 % требований выполнено);

4-7: среднее соответствие (60-80 % требований выполнено);

8-10: высокое соответствие (более 80 % требований выполнено).

Удовлетворенность пользователей:

1-3: низкая удовлетворенность (частые жалобы, низкая оценка пользователей);

4-7: средняя удовлетворенность (периодические жалобы, нейтральные отзывы);

8-10: высокая удовлетворенность (редкие жалобы, положительные отзывы).

Затраты на проект (инвертированная шкала):

1-3: высокие затраты (превышение бюджета более чем на 20 %);

4-7: средние затраты (в пределах бюджета ± 20 %);

8-10: низкие затраты (экономия более 20 % бюджета).

Сроки реализации (инвертированная шкала):

1-3: значительное превышение сроков (более чем на 30 %);

4-7: незначительное отклонение от сроков (± 15 %);

8-10: опережение графика (более чем на 15 %).

Производительность системы:

1-3: низкая производительность (частые задержки, низкая скорость обработки данных);

4-7: средняя производительность (периодические задержки, приемлемая скорость);

8-10: высокая производительность (редкие задержки, высокая скорость обработки).

Соответствие нормативным требованиям:

1-3: низкое соответствие (множественные нарушения нормативов);

4-7: среднее соответствие (незначительные отклонения от нормативов);

8-10: полное соответствие (все нормативные требования выполнены).

Совместимость с инфраструктурой:

1-3: низкая совместимость (требуются значительные изменения инфраструктуры);

4-7: средняя совместимость (требуется некоторые адаптации);

8-10: высокая совместимость (легкая интеграция с существующей инфраструктурой).

Гибкость:

1-3: низкая гибкость (сложности с адаптацией к изменениям);

4-7: средняя гибкость (возможность адаптации с некоторыми усилиями);

8-10: высокая гибкость (легкая адаптация к изменяющимся требованиям).

Риски (инвертированная шкала):

1-3: высокий риск (вероятность > 50%, высокое влияние);

4-7: средний риск (вероятность 20-50%, среднее влияние);

8-10: низкий риск (вероятность <20%, низкое влияние).

Вовлеченность заказчика:

1-3: низкая вовлеченность (редкое участие, слабая обратная связь);

4-7: средняя вовлеченность (периодическое участие, умеренная обратная связь);

8-10: высокая вовлеченность (активное участие, постоянная обратная связь).

Методы перевода различных оценок в десятибалльную шкалу играют важную роль в обеспечении сопоставимости оценок по различным критериям. Рассмотрим подробнее метод линейного масштабирования, который применяется для количественных показателей.

Линейное масштабирование позволяет преобразовать значения из исходного диапазона в целевой диапазон (1-10) с сохранением пропорций между значениями. Формула для линейного масштабирования выглядит следующим образом:

$$O = 1 + 9 \cdot \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (31)$$

где O – это исходное значение показателя, X_{\min} и X_{\max} – минимальное и максимальное значения показателя среди всех альтернатив соответственно.

Процесс применения метода линейного масштабирования включает следующие шаги:

Определение минимального и максимального значений показателя среди всех альтернатив.

1. Вычитание минимального значения из текущего значения показателя для нормализации диапазона.
2. Деление полученной разности на разность между максимальным и минимальным значениями для получения нормализованного значения в диапазоне от 0 до 1.
3. Умножение результата на 9 для расширения диапазона до 0-9.
4. Добавление 1 к полученному результату для смещения диапазона до 1-10.

Например, если имеется показатель стоимости проекта, где минимальное значение среди альтернатив составляет 100 000 рублей, максимальное – 500 000 рублей, а текущее значение – 300 000 рублей, то оценка по десятибалльной шкале будет рассчитана следующим образом:

$$O = 1 + 9 \cdot (300\,000 - 100\,000) / (500\,000 - 100\,000) = 1 + 9 \cdot 0,5 = 5,5$$

Таким образом, стоимость проекта в 300 000 рублей получит оценку 5,5 по десятибалльной шкале.

После получения оценок по десятибалльной шкале производится их нормализация для обеспечения сопоставимости и возможности агрегирования. Нормализованная оценка рассчитывается по формуле: $(\text{оценка} - 1) / 9$, что приводит все оценки к единому диапазону $[0, 1]$.

Важно учитывать направленность критериев: для "негативных" критериев (где меньшее значение лучше) применяется инверсия нормализованных оценок.

Для сложно формализуемых критериев применяются лингвистические шкалы в сочетании с методами нечеткой логики [29].

Подход включает определение лингвистических термов, задание функций принадлежности, выражение экспертных оценок в лингвистических термах и применение методов нечеткого вывода для получения четкого значения.

Калибровка шкал, обеспечение согласованности оценок и визуализация результатов являются важными аспектами работы с системой оценки [48]. Регулярное тестирование, экспертная валидация, статистический анализ и периодическая корректировка шкал способствуют повышению их точности и релевантности.

Разработанная система шкал оценки критериев обеспечивает комплексный и гибкий подход к оценке эффективности стратегий проектирования, способствуя принятию обоснованных решений в условиях многокритериальности и неопределенности.

Выводы по Главе 3

В третьей главе разработана и детально описана модель оценки эффективности и качества выбора стратегии проектирования. Исследование охватило широкий спектр аспектов, включая обоснование необходимости модели, ее математическое описание, разработку интегрального показателя эффективности, определение критериев и шкал оценки, методы обработки неопределенности и интерпретацию результатов.

Обоснована критическая важность разработки комплексной модели для повышения качества принимаемых решений в проектных организациях. Разработана структура модели, включающая входные параметры, процесс обработки данных и выходные параметры, что обеспечивает комплексный подход к оценке эффективности стратегий. Предложено формализованное математическое описание модели, обеспечивающее точность и однозначность в определении критериев и сравнении альтернатив.

Разработан комплексный интегральный показатель эффективности, объединяющий финансовые, временные и качественные аспекты проекта. Предложен всесторонний набор критериев, охватывающий различные аспекты проекта, и разработана унифицированная шкала оценки, обеспечивающая сопоставимость оценок.

Предложенная модель представляет собой мощный инструмент поддержки принятия решений в проектных организациях, позволяющий систематизировать процесс выбора стратегии проектирования, повысить объективность оценки и обеспечить обоснованность принимаемых решений в условиях многокритериальности и неопределенности. Дальнейшие исследования могут быть направлены на адаптацию модели к специфике различных отраслей, интеграцию с существующими системами управления проектами и применение методов машинного обучения для повышения точности прогнозов и оценок.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

4.1 Обоснование необходимости разработки программных модулей и их место в системе поддержки принятия решений

Разработка специализированных программных модулей для поддержки принятия решений при выборе оптимальных стратегий проектирования является логическим продолжением и практической реализацией теоретических положений, представленных в предыдущих главах диссертации. Необходимость создания такого программного инструмента обусловлена рядом факторов, связанных со спецификой современных проектных организаций и сложностью процессов принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности [13, 29, 30, 34, 88].

Прежде всего, следует отметить высокую вычислительную сложность разработанных алгоритмов и моделей, особенно при работе с большим количеством критериев и альтернативных стратегий проектирования. Современные проекты, реализуемые в различных отраслях, характеризуются беспрецедентной сложностью и многогранностью [30, 33]. Они требуют учета множества взаимосвязанных факторов, включая технические, экономические, организационные и даже социальные аспекты. В результате, количество критериев, которые необходимо учитывать при выборе оптимальной стратегии проектирования, может достигать нескольких десятков, а число альтернативных стратегий - нескольких сотен.

Ручное выполнение расчетов в таких условиях становится практически невозможным, а использование стандартных офисных приложений (например, электронных таблиц) оказывается неэффективным и подверженным ошибкам. Специализированные программные модули

позволяют автоматизировать сложные вычисления, обеспечивая высокую скорость и точность анализа даже для масштабных проектов.

Другим важным фактором, обосновывающим необходимость разработки программных модулей, является интеграция различных методов многокритериального анализа и оценки эффективности стратегий проектирования [27]. Предложенный в диссертации подход сочетает МАИ, метод PROMETHEE и метод TOPSIS. Каждый из указанных методов имеет свои особенности и преимущества, а их комбинированное использование позволяет получить более комплексную и объективную оценку альтернативных стратегий. Однако такая интеграция требует сложной логики взаимодействия методов и обработки промежуточных результатов. Однако такая интеграция требует сложной логики взаимодействия методов и обработки промежуточных результатов [40, 46].

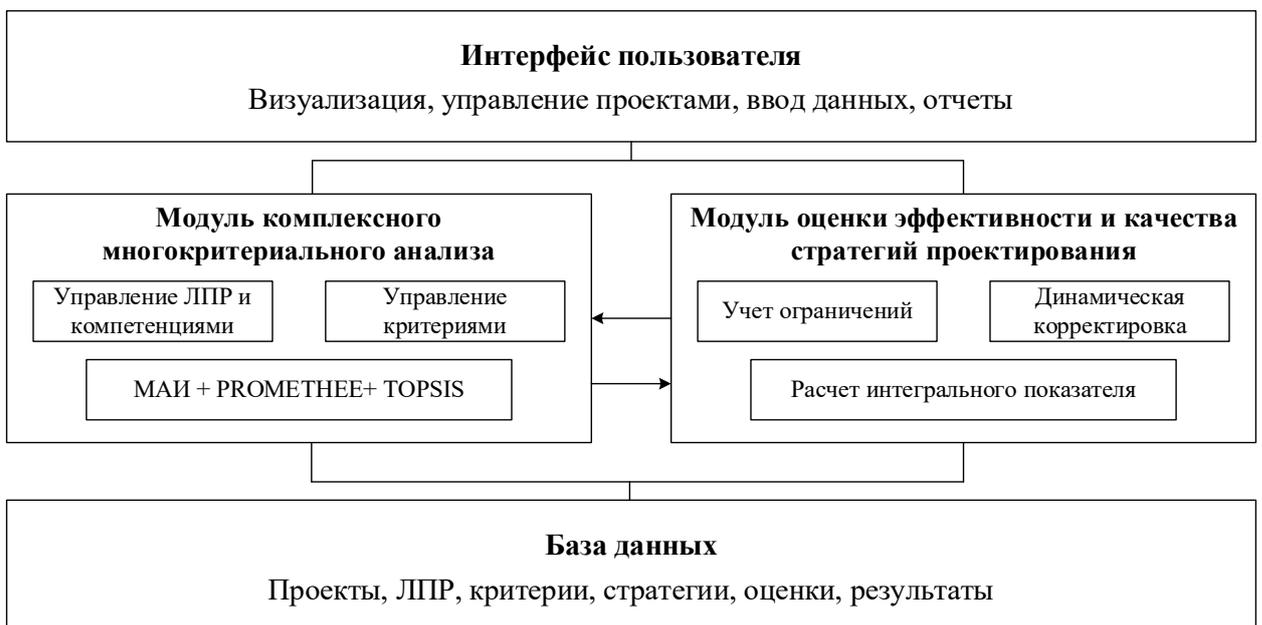


Рисунок 12 – Структура системы поддержки принятия решений с разработанными модулями

В рамках данного исследования разработаны два ключевых программных модуля:

1. Программный модуль комплексного многокритериального анализа.
2. Программный модуль оценки эффективности и качества стратегий проектирования.

Указанные модули тесно взаимодействуют между собой и совместно обеспечивают полный цикл анализа и выбора оптимальных стратегий проектирования.

Как видно из рисунка 12, разработанные программные модули интегрированы в общую архитектуру системы поддержки принятия решений. Модуль комплексного многокритериального анализа реализует алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев, а модуль оценки эффективности и качества обеспечивает комплексную оценку альтернативных стратегий на основе целевой функции эффективности [21].

Оба модуля взаимодействуют с общей базой данных, что позволяет накапливать и использовать информацию о прошлых проектах, предпочтениях заинтересованных сторон и результатах предыдущих анализов. Такой подход обеспечивает преемственность и постоянное совершенствование процесса принятия решений в проектных организациях.

4.2 Программный модуль комплексного многокритериального анализа

Программный модуль комплексного многокритериального анализа реализует алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев, описанный во второй главе диссертации. Модуль представляет собой комплексную информационно-аналитическую систему, интегрирующую различные методы многокритериального анализа и обеспечивающую полный цикл обработки данных – от выявления заинтересованных сторон до формирования

конкретных рекомендаций по выбору оптимальной стратегии проектирования.

Структура и основные компоненты программного модуля комплексного многокритериального анализа представлены на Рисунке 13.



Рисунок 13 – Структура программного модуля комплексного многокритериального анализа

Модуль состоит из нескольких взаимосвязанных компонентов, каждый из которых отвечает за реализацию определенного этапа алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений. Компонент управления

заинтересованными сторонами обеспечивает анализ организационной структуры проекта, идентификацию и группировку ЛПП по ролям, а также создание и управление матрицей компетенций. Компонент управления критериями отвечает за формирование и структурирование списка критериев оценки, их классификацию по категориям и определение взаимосвязей между критериями.

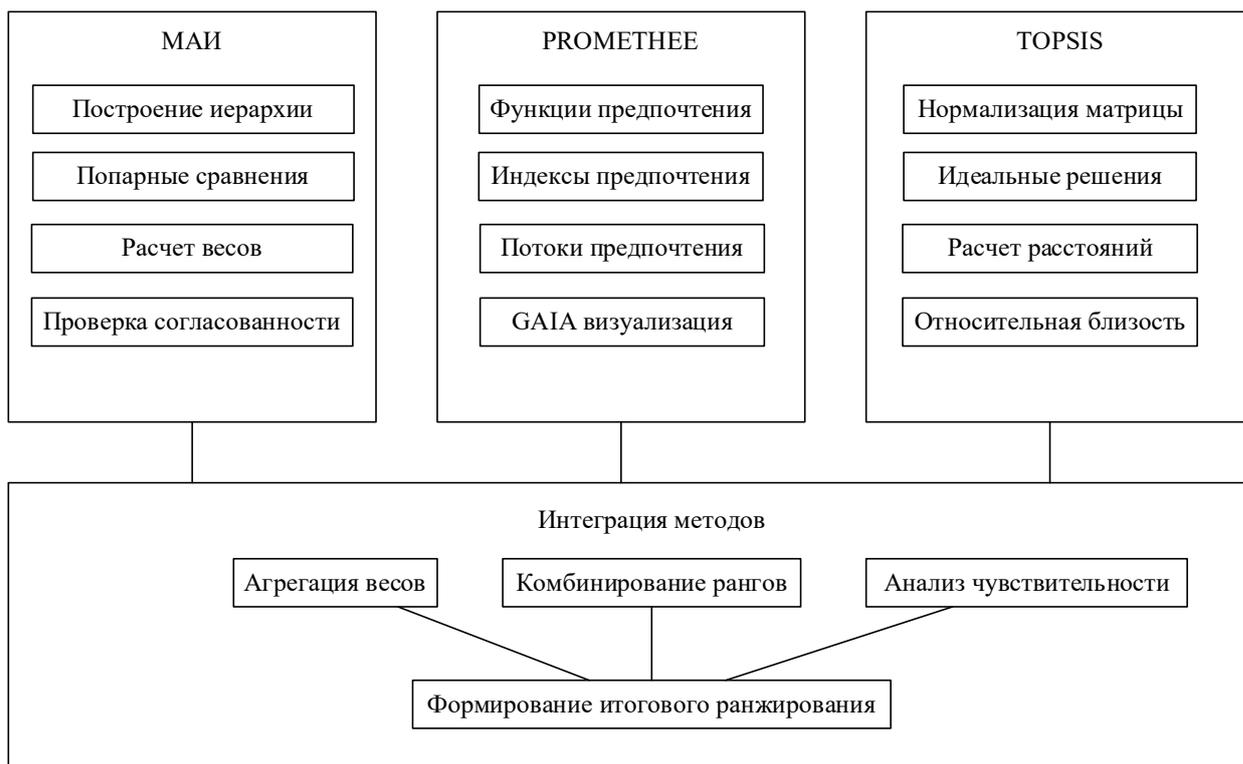


Рисунок 14 – Блок-схема интеграции методов МАИ, PROMETHEE и TOPSIS в едином алгоритме

Особую роль играет компонент анализа «Критерии-ЛПП», который реализует механизмы построения и анализа матрицы «Критерии-ЛПП», расчета весовых коэффициентов важности для ролей ЛПП и определения значимости критериев с учетом компетенций ЛПП. Центральным элементом модуля является компонент многокритериального анализа, интегрирующий методы МАИ, PROMETHEE и TOPSIS для обеспечения комплексного анализа альтернативных стратегий проектирования

Завершают структуру модуля компонент формирования рекомендаций, отвечающий за генерацию детальных рекомендаций по выбору оптимальной стратегии проектирования, компонент машинного обучения, реализующий алгоритм градиентного бустинга для прогнозирования вероятности успеха различных стратегий, и интерфейсный компонент, обеспечивающий взаимодействие с другими элементами системы.

Функционально модуль обеспечивает анализ организационной структуры проекта, формирование набора обобщенных ролей ЛПР, проведение анкетирования и определение компетенций, создание и управление матрицей компетенций. Также он позволяет формировать и структурировать иерархический список критериев, рассчитывать весовые коэффициенты для ролей ЛПР на основе их компетенций и строить матрицу «Критерии-ЛПР».

В области многокритериального анализа модуль реализует расчет обобщенных показателей предпочтения для пар альтернатив, вычисление интегральных показателей значимости критериев, определение идеальных и анти-идеальных решений, расчет относительных рейтингов приближения альтернатив к идеалу и ранжирование альтернативных стратегий по комплексу критериев. Завершает функционал прогнозирование вероятности успеха стратегий с использованием модели градиентного бустинга и формирование детальных рекомендаций для наиболее перспективных стратегий.

Реализация алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений в модуле включает последовательное выполнение шагов, описанных во второй главе. Этот процесс начинается с выявления ЛПР и их группировки по ролям, продолжается анкетированием и определением компетенций, формированием списка критериев, расчетом весовых коэффициентов и построением матрицы «Критерии-ЛПР». Далее выполняется анализ множества альтернатив, ранжирование стратегий и формирование интеллектуальных рекомендаций.

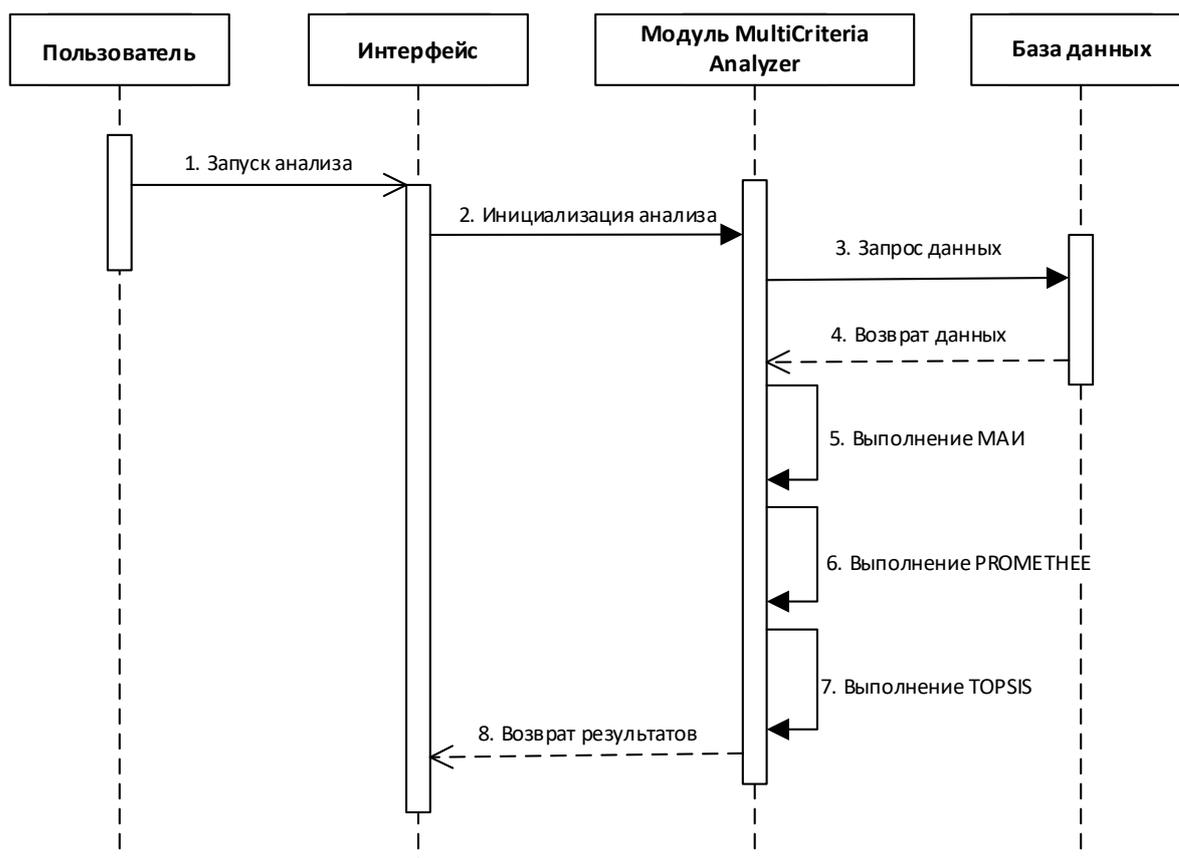


Рисунок 15 – Диаграмма последовательности процесса
многокритериального анализа

Особую роль в реализации алгоритма играет компонент машинного обучения, который использует алгоритм градиентного бустинга для прогнозирования вероятности успеха различных стратегий проектирования на основе исторических данных. Модель анализирует характеристики проекта, результаты многокритериального анализа и рассчитанные индексы риск-возможность для генерации прогнозов, которые учитываются при формировании рекомендаций.

Программный модуль комплексного многокритериального анализа обеспечивает полную реализацию разработанного алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений, интегрируя различные методы анализа и обеспечивая комплексный подход к выбору оптимальных стратегий проектирования в проектных организациях.

4.3 Программный модуль оценки эффективности и качества стратегий проектирования

Программный модуль оценки эффективности и качества стратегий проектирования реализует математическую модель, описанную в третьей главе диссертации. В основе модуля лежит расчет интегрального показателя эффективности, учитывающего баланс между затратами, временем и качеством.

Структура и основные компоненты программного модуля оценки эффективности и качества стратегий проектирования представлены на Рисунке 16.

Модуль включает несколько взаимосвязанных компонентов, каждый из которых отвечает за реализацию определенного аспекта модели оценки эффективности. Компонент управления стратегиями обеспечивает создание, редактирование и управление альтернативными стратегиями проектирования, включая их основные характеристики и параметры. Компонент нормализации данных отвечает за приведение разнородных показателей к единой шкале для обеспечения их сопоставимости.

Центральным элементом модуля является компонент расчета интегрального показателя, реализующий механизмы расчета интегрального показателя эффективности для каждой альтернативной стратегии с учетом весовых коэффициентов и направления оптимизации. Особенностью модуля является реализация механизма динамической корректировки весовых коэффициентов, что позволяет адаптировать модель к изменяющимся условиям проекта. Модуль анализирует отклонения фактических показателей от плановых и автоматически корректирует значимость различных аспектов (финансы, время, качество) в соответствии с текущими потребностями проекта.

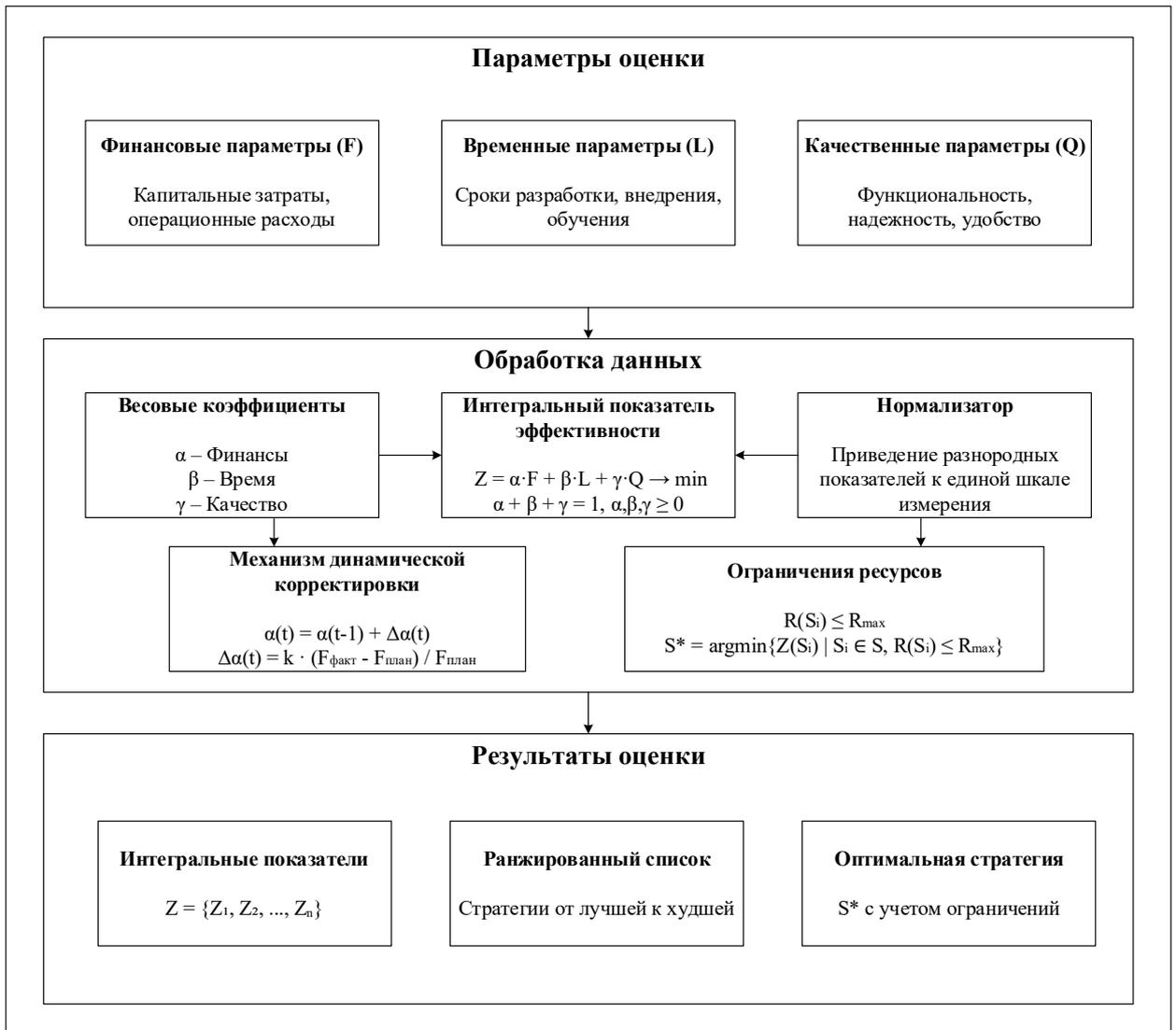


Рисунок 16 – Структура программного модуля оценки эффективности стратегий проектирования

Важную роль играют компонент анализа ограничений, отвечающий за проверку соответствия альтернативных стратегий установленным ресурсным и нормативным ограничениям, и компонент оценки рисков и возможностей, реализующий механизмы расчета индекса риск-возможность для каждой стратегии на основе анализа потенциальных рисков и возможностей.

Завершают структуру модуля компонент визуализации результатов, обеспечивающий графическое представление результатов оценки эффективности альтернативных стратегий проектирования, и интерфейсный

компонент, отвечающий за взаимодействие с другими элементами системы поддержки принятия решений.

Функциональные возможности модуля включают создание и управление альтернативными стратегиями проектирования, нормализацию разнородных показателей, расчет интегрального показателя эффективности для каждой стратегии и динамическую корректировку весовых коэффициентов. Модуль также обеспечивает проверку соответствия стратегий установленным ограничениям, расчет индекса риск-возможность, ранжирование стратегий по интегральному показателю эффективности и определение оптимальной стратегии с учетом ресурсных ограничений. Дополняют функционал графическое представление результатов оценки и генерация аналитических отчетов.

Реализация математической модели оценки эффективности в программном модуле включает несколько ключевых аспектов. Прежде всего, это расчет интегрального показателя эффективности Z для каждой альтернативной стратегии по формуле (24).

Для нормализации разнородных показателей используется линейная min-max нормализация. Особый подход применяется к показателю качества Q , для которого используется инвертированная формула нормализации, поскольку его необходимо максимизировать, в отличие от финансовых и временных затрат.

Важным аспектом реализации модели является механизм динамической корректировки весовых коэффициентов на каждом временном шаге на основе отклонения фактических показателей от плановых. Механизм обеспечивает адаптивность модели к изменяющимся условиям проекта.

Определение оптимальной стратегии производится с учетом ресурсных ограничений по формуле (30).

Дополняет реализацию модели механизм расчета индекса риск-возможность для каждой стратегии, который учитывает потенциальные риски и возможности, связанные с реализацией стратегии.

Отличительными особенностями реализации модели являются ее адаптивность к изменяющимся условиям проекта и способность визуализировать результаты оценки эффективности через построение различных графиков и диаграмм, что облегчает интерпретацию результатов и поддерживает процесс принятия решений.

Программный модуль оценки эффективности и качества стратегий проектирования обеспечивает полную реализацию разработанной математической модели, предоставляя инструменты для комплексной оценки альтернативных стратегий и определения оптимального решения с учетом различных аспектов проекта.

4.4 Структура базы данных

Для эффективного функционирования разработанных программных модулей необходима надежная и хорошо структурированная база данных, обеспечивающая хранение, обработку и извлечение информации, необходимой для многокритериального анализа и оценки эффективности стратегий проектирования.

Разработанная база данных представляет собой реляционную систему, оптимизированную для работы с многокритериальными данными и сложными иерархическими структурами, характерными для процессов принятия решений в проектных организациях. В рамках данного исследования была спроектирована и реализована реляционная база данных, оптимизированная для работы с многокритериальными данными и сложными иерархическими структурами, характерными для процессов принятия решений в проектных организациях. Современные методы анализа данных, применяемые в системах поддержки принятия решений, включая интеллектуального анализа данных, описаны в исследованиях [36, 97-103].

При проектировании логической структуры базы данных выбор был сделан в пользу реляционной модели. Решение обусловлено рядом существенных преимуществ, которые реляционная модель предоставляет для решения задач многокритериального анализа и выбора стратегий проектирования. Реляционная модель позволяет эффективно структурировать данные о проектах, ЛПР, критериях, альтернативных стратегиях и их оценках в виде взаимосвязанных таблиц.

Логическая структура базы данных включает следующие основные таблицы:

Проекты – хранит информацию о проектах, включая их наименование, описание, даты начала и окончания, а также статус;

Критерии – содержит список критериев оценки, включая их название, описание, вес и тип;

ЛПР – хранит данные о лицах, принимающих решения, включая их имя, роль, область знаний и уровень компетенций;

Альтернативы – содержит информацию об альтернативных стратегиях проектирования, включая их название и описание;

Оценки альтернатив – реализует матрицу оценок, включая числовые и текстовые значения, а также дату оценки;

Результаты анализа – хранит данные о проведенных анализах, включая тип анализа, данные результата и дату анализа;

Риски – содержит информацию о рисках, связанных с различными альтернативами, включая описание, вероятность и влияние.

На Рисунке 17 изображена логическая структура базы данных.

Таблица Проекты является центральной в структуре базы данных и содержит ключевую информацию о каждом проекте. Эта таблица связана с большинством других таблиц, что позволяет эффективно группировать и анализировать данные в контексте конкретных проектов.

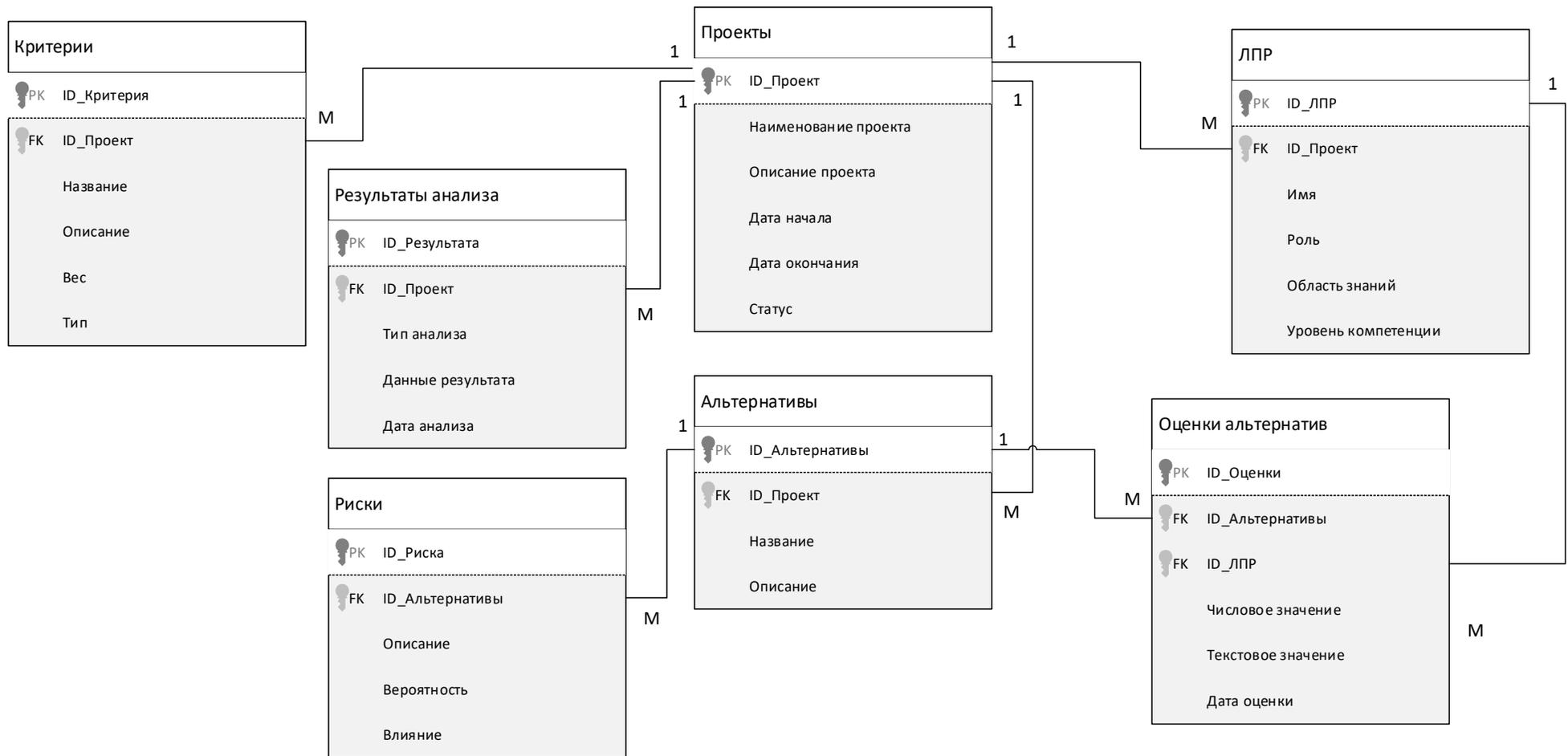


Рисунок 17 – Логическая база данных

Таблица ЛПР хранит информацию о лицах, принимающих решения, включая их роли и области компетенций. Такой подход позволяет учитывать различные точки зрения при проведении многокритериального анализа.

Таблица Критерии содержит перечень всех критериев оценки, используемых в системе. Каждый критерий характеризуется названием, описанием, типом и весом.

Таблица Альтернативы хранит информацию об альтернативных стратегиях проектирования. Каждая стратегия связана с конкретным проектом и содержит название и описание.

Таблица Оценки альтернатив является ключевой для хранения оценок стратегий. Она реализует связь между альтернативами и ЛПР, позволяя хранить как числовые, так и текстовые оценки.

Таблица Результаты анализа предназначена для хранения результатов проведенных анализов. Такая структура позволяет сохранять историю анализов и проводить сравнение результатов с течением времени.

Таблица Риски предназначена для учета и анализа рисков, связанных с различными альтернативами. Она содержит информацию о вероятности возникновения риска и его потенциальном влиянии.

Особое внимание при проектировании базы данных было уделено обеспечению гибкости и масштабируемости. Структура таблиц обеспечивает возможность легкого добавления новых критериев, альтернатив и ЛПР без необходимости изменения схемы базы данных. Данная особенность особенно важна в контексте проектных организаций, где требования к анализу могут меняться от проекта к проекту.

Для оптимизации производительности запросов были созданы индексы на ключевых полях и часто используемых комбинациях полей. Подобная оптимизация особенно важна при работе с большими объемами данных, характерными для сложных проектов с множеством альтернатив и критериев.

Реализованная структура базы данных также поддерживает версиюность данных, позволяя отслеживать изменения в оценках и критериях

с течением времени. Такая возможность особенно важна для долгосрочных проектов, где предпочтения и оценки могут меняться в процессе реализации.

Интеграция базы данных с другими компонентами системы осуществляется через специально разработанный слой абстракции данных, обеспечивающий гибкость и независимость бизнес-логики от конкретной реализации базы данных. Данный подход также упрощает возможное будущее масштабирование системы или миграцию на другие СУБД без необходимости существенных изменений в основном коде приложения.

В целом, разработанная структура базы данных является ключевым компонентом программного продукта, обеспечивающим надежную основу для хранения и обработки данных, необходимых для эффективного многокритериального выбора стратегий проектирования в проектных организациях [57].

Гибкость, масштабируемость и оптимизированная производительность базы данных способствуют эффективной работе всей системы поддержки принятия решений. Вопросы оптимизации производительности и масштабируемости систем поддержки принятия решений рассматриваются в исследованиях [109, 110].

4.4. Пользовательский интерфейс и функциональные возможности программных модулей

Пользовательский интерфейс разработанных программных модулей играет ключевую роль в обеспечении эффективного взаимодействия с системой и представления результатов анализа в понятной и наглядной форме. При разработке интерфейса особое внимание было уделено принципам юзабилити, обеспечивающим комфортную работу с системой для пользователей различного уровня подготовки [130].

Главное окно программы представляет собой многофункциональный интерфейс, разделенный на несколько ключевых областей. В верхней части располагается главное меню, обеспечивающее доступ ко всем основным функциям системы. Меню логически структурировано и включает разделы "Файл", "Данные", "Анализ", "Отчеты" и "Справка". Такая организация меню позволяет пользователю интуитивно находить необходимые функции и эффективно управлять процессом анализа.

Центральную часть главного окна занимает рабочая область, которая динамически изменяется в зависимости от выбранного режима работы. Эта область может отображать различные формы ввода данных, результаты анализа, графики и диаграммы. Использование концепции многодокументного интерфейса (MDI) позволяет пользователю одновременно работать с несколькими проектами или различными аспектами одного проекта, что значительно повышает продуктивность работы.

В левой части главного окна располагается панель навигации по проекту, представляющая собой древовидную структуру. Панель обеспечивает быстрый доступ к различным компонентам проекта: списку ЛПР, перечню критериев, альтернативным стратегиям и результатам анализа. Такая организация навигации позволяет пользователю легко ориентироваться в структуре проекта и быстро переключаться между различными его аспектами.

Нижняя часть главного окна отведена под строку состояния, отображающую текущую информацию о проекте, прогресс выполнения длительных операций и подсказки по работе с системой. Такая организация обеспечивает пользователя актуальной информацией о состоянии системы и выполняемых операциях.

Процесс ввода и редактирования данных о проекте реализован через систему диалоговых окон и форм, каждая из которых оптимизирована под конкретную задачу. Форма создания нового проекта позволяет пользователю указать основные метаданные проекта, такие как название, описание, дата

начала и планируемая дата завершения. Особое внимание уделено возможности импорта данных из внешних источников, что значительно ускоряет процесс инициализации проекта.

Ввод информации о лицах, принимающих решения, осуществляется через специализированную форму, которая позволяет не только указать основные данные о каждом ЛПР (имя, должность, контактная информация), но и определить их компетенции и области ответственности. Реализована возможность группировки ЛПР по ролям, что важно для последующего анализа и агрегирования мнений экспертов.

Форма определения критериев оценки представляет собой гибкий инструмент для создания многоуровневой системы критериев. Пользователь может определять иерархическую структуру критериев, указывать их тип (количественный или качественный), задавать шкалы измерения и определять направление оптимизации (максимизация или минимизация). Особое внимание уделено возможности работы с нечеткими критериями, для которых предусмотрен специальный интерфейс ввода функций принадлежности.

Ввод и редактирование альтернативных стратегий проектирования реализованы через интуитивно понятную форму, позволяющую детально описать каждую стратегию и оценить ее по всем заданным критериям. Для удобства пользователя реализована возможность копирования и модификации существующих стратегий, что ускоряет процесс формирования набора альтернатив.

В пользовательском интерфейсе реализован ряд интерактивных графиков и диаграмм, позволяющих наглядно представить результаты многокритериального анализа. Пользователь может выбирать различные типы визуализации, включая столбчатые диаграммы для сравнения альтернатив по отдельным критериям, лепестковые диаграммы для комплексной оценки стратегий, графики попарного сравнения альтернатив. Современные подходы к визуализации результатов многокритериального анализа и их роль в процессе принятия решений описаны в работах [107, 108].

Особенностью интерфейса является реализация интерактивных элементов управления, позволяющих пользователю динамически изменять параметры анализа и мгновенно наблюдать влияние изменений на результаты. Например, пользователь может интерактивно корректировать веса критериев, наблюдая в реальном времени отражение изменений на ранжировании альтернатив. Подобный подход обеспечивает глубокое понимание чувствительности результатов к изменению входных параметров.

Для обеспечения прозрачности процесса анализа реализована функция детализации результатов, позволяющая пользователю «погружаться» в данные, просматривая промежуточные расчеты и обоснования для каждого шага анализа. Данная функциональность особенно важна для обеспечения доверия к результатам анализа и их обоснования перед заинтересованными сторонами проекта.

Система отчетности в программном обеспечении реализована с высокой степенью гибкости. Пользователь может формировать различные типы отчетов, от кратких сводок до детальных аналитических выкладок. Предусмотрена возможность настройки шаблонов отчетов, что позволяет адаптировать их под специфические требования каждой проектной организации. Отчеты могут быть экспортированы в различные форматы (PDF, DOC, XLS), что обеспечивает удобство их дальнейшего использования и распространения.

Система предоставляет пользователю доступ к модулю генерации управленческих рекомендаций через специальный интерфейс. Пользователь может просматривать сгенерированные рекомендации для топ-3 стратегий, включающие обоснование выбора, предлагаемые действия по реализации, меры по минимизации рисков и рекомендации по использованию возможностей. Результаты представляются в виде структурированных таблиц и наглядных визуализаций, что облегчает процесс принятия решений.

В целом, пользовательский интерфейс и функциональные возможности разработанного программного обеспечения обеспечивают эффективный

инструментарий для поддержки принятия решений при выборе стратегий проектирования. Интуитивно понятный интерфейс, различные возможности визуализации и анализа данных, гибкая система отчетности и механизмы совместной работы создают комплексную среду, способствующую принятию обоснованных и эффективных решений в проектных организациях.

4.5. Апробация и оценка эффективности разработанных программных модулей

Апробация и оценка эффективности разработанных программных модулей поддержки принятия решений при выборе оптимальных стратегий проектирования в организационных системах являются важными этапами исследования, позволяющими подтвердить практическую применимость и ценность предложенных решений. Описанный процесс проводился в несколько этапов:

Лабораторное тестирование, включающее проверку функциональности модулей на тестовых данных, оценку производительности и устойчивости к различным входным данным.

Экспертная оценка, проведенная группой специалистов в области проектного управления и информационных технологий, для оценки удобства использования и соответствия функциональных возможностей модулей требованиям проектных организаций.

Пилотное внедрение в реальных проектных организациях для оценки эффективности модулей в условиях реальной проектной деятельности.

Сравнительный анализ эффективности процессов принятия решений до и после внедрения разработанных модулей.

Первый этап апробации был проведен на базе АО «Можайское экспериментальное-механическое предприятие» (АО «МЭМП»). Выбор данного предприятия обусловлен его активной деятельностью в области

проектирования и внедрения комплексных технических решений, что полностью соответствует целевой области применения разработанных программных модулей.

На начальном этапе внедрения было проведено обучение ключевых сотрудников предприятия работе с системой. Обучение включало как теоретическую часть, охватывающую основы многокритериального анализа и принципы работы используемых методов, так и практическую часть с решением реальных задач предприятия.

В рамках апробации система была применена для анализа и выбора оптимальных стратегий в нескольких текущих проектах предприятия, что позволило провести сравнительный анализ эффективности принятия решений с использованием разработанных модулей и традиционных методов, применявшихся на предприятии ранее. Результаты показали, что использование разработанных программных модулей привело к повышению точности выбора стратегий на 12 % при одновременном сокращении времени принятия решений в среднем на 15 %.

Особое внимание в процессе апробации было уделено оценке способности системы работать с большими объемами данных и сложными иерархическими структурами критериев, характерными для проектов АО «МЭМП». Система продемонстрировала высокую производительность и стабильность работы даже при анализе проектов с более чем 10 критериями и 20 альтернативными стратегиями, что превзошло первоначальные ожидания.

По результатам апробации на предприятии была собрана и проанализирована обратная связь от пользователей. Проведенные опросы показали высокий уровень удовлетворенности интерфейсом и функциональными возможностями системы. Особенно положительно были отмечены инструменты визуализации результатов анализа и возможности проведения анализа чувствительности, которые значительно облегчили процесс обоснования принимаемых решений перед руководством и заказчиками.

Второй этап апробации был проведен в ООО «Центр интеграции приложений», что позволило оценить эффективность разработанных модулей в контексте проектов, связанных с разработкой и интеграцией информационных систем.

Программные модули были использованы для оптимизации процессов проектирования и выбора стратегий развития платформы интеграции корпоративных приложений. Применение модулей позволило учесть множество разнородных факторов, включая технические характеристики системы, совместимость с существующими решениями, экономическую эффективность и потенциал масштабирования.

Результаты апробации в ООО «Центр интеграции приложений» показали значительное повышение эффективности процесса проектирования. В частности, было достигнуто повышение эффективности проектирования на 8%, что выразилось в более быстром выводе новых интеграционных решений на рынок и повышении удовлетворенности клиентов. Кроме того, применение системы позволило оптимизировать затраты на разработку проектов в среднем на 10% за счет более точного прогнозирования и распределения ресурсов.

Особенно эффективным оказалось применение разработанных модулей для анализа рисков проектов [51].

Инструменты управления рисками, интегрированные в модули, позволили команде ООО «Центр интеграции приложений» точнее идентифицировать потенциальные угрозы и разработать эффективные стратегии их минимизации.

Важным аспектом оценки эффективности разработанных модулей стало сравнение результатов, полученных с их использованием, с результатами, полученными при использовании традиционных методов принятия решений. Для этого был проведен ряд экспериментов, в которых одни и те же проектные задачи решались с использованием разработанных программных модулей и нескольких коммерческих аналогов.

В таблице 15 представлены ключевые результаты апробации разработанных программных модулей в двух организациях: АО «Можайское экспериментальное-механическое предприятие» и ООО «Центр интеграции приложений». Данные демонстрируют значительное повышение эффективности процессов принятия решений и управления проектами после внедрения модулей.

Таблица 15 – Результаты апробации программного обеспечения

Показатель эффективности	АО «Можайское ЭМП»	ООО «Центр интеграции приложений»
Повышение точности выбора стратегий	12%	10%
Сокращение времени принятия решений	15%	18%
Оптимизация затрат на разработку проектов	10%	8%
Снижение количества критических инцидентов	15%	13%
Повышение эффективности проектирования	12%	10%
Сокращение времени анализа 20 альтернативных стратегий	5.5 раз	5.2 раза

В рамках апробации было проведено сравнительное исследование эффективности разработанных алгоритма и модели, реализованных в программных модулях, в сравнении с традиционными методами многокритериального анализа. Особое внимание было уделено оценке временных затрат на анализ различного количества альтернативных стратегий проектирования и качеству принимаемых решений.

Разработанные алгоритм и модель, реализованные в программных модулях, демонстрируют ряд ключевых преимуществ:

1. Интегрированный подход к анализу, объединяющий методы МАИ, PROMETHEE и TOPSIS, что обеспечивает более комплексную и точную оценку альтернатив за счет компенсации недостатков отдельных методов.

2. Динамическое управление входным набором критериев, позволяющее адаптировать анализ к изменяющимся условиям проекта, что невозможно при использовании традиционных методов.

3. Многоуровневая система весовых коэффициентов с учетом компетенций различных ЛПР, обеспечивающая более точную оценку значимости критериев.

4. Встроенные инструменты анализа чувствительности, основанные на разработанной модели оценки эффективности и качества.

Для оценки эффективности разработанных алгоритма и модели было проведено сравнительное исследование времени, затрачиваемого на анализ различного количества альтернативных стратегий проектирования с использованием традиционных методов и разработанных модулей.



Рисунок 18 – График времени, затрачиваемого на анализ стратегий

График на рисунке 18 демонстрирует преимущества разработанных модулей при анализе различного количества стратегий. Измерения включают полный цикл анализа: сбор данных, анкетирование ЛПР, формирование

списка критериев, построение матрицы "Критерии-ЛПР" и проведение многокритериального анализа.

При использовании традиционных методов многокритериального анализа время обработки линейно возрастает от 5 часов для 5 стратегий до 11 часов для 20 стратегий. Разработанные модули существенно сокращают время анализа: с 0.5 часа для 5 стратегий до 2 часов для 20 стратегий.

Сравнение показывает, что при анализе 20 стратегий разработанные модули обеспечивают выполнение задачи в 5,5 раз быстрее традиционных методов. Такое значительное сокращение времени достигается не только за счет автоматизации, но и благодаря более эффективным механизмам динамического управления критериями и интеграции методов многокритериального анализа.

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность разработанного программного обеспечения и его способность значительно оптимизировать процесс многокритериального анализа стратегий проектирования в проектных организациях.

Для подтверждения достоверности и обоснованности результатов работы программных модулей был проведен статистический анализ с использованием критерия Фишера. В качестве контрольной группы использовались данные по 15 завершенным проектам АО «Можайское экспериментально-механическое предприятие» за 2020-2023 годы, где решения принимались традиционными методами. Экспериментальную группу составили 6 проектов 2024 годов, где применялись разработанные программные модули.

Для проверки гипотезы о повышении эффективности принятия решений оценивались следующие показатели:

1. Время принятия решений (T).
2. Процент проектов, завершенных в срок (P_1).
3. Процент проектов, уложившихся в бюджет (P_2).

4. Количество корректировок принятых решений в ходе реализации проекта (N).

Расчет критерия Фишера производился по формуле:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \quad (32)$$

где σ_1^2 - дисперсия показателя в контрольной группе, σ_2^2 - дисперсия показателя в экспериментальной группе.

Результаты статистического анализа представлены в Таблице 16.

Таблица 16 – Сравнительный анализ эффективности принятия решений

Показатель	Контрольная группа ($\mu_1 \pm \sigma_1$)	Экспериментальная группа ($\mu_2 \pm \sigma_2$)	F-критерий	p-value
T, дни	15,3±4,2	8,1±1,7	6,12	<0,001
P ₁ , %	56,4±12,8	77,2±8,3	2,37	<0,05
P ₂ , %	46,2±14,5	67,8±9,1	2,54	<0,05
N	8,4±3,1	3,2±1,4	4.91	<0,001

Полученные значения F-критерия для всех показателей превышают критическое значение $F_{кр} = 1,98$ (при $\alpha = 0,05$), что свидетельствует о статистически значимых различиях между группами.

В целом, апробация и оценка эффективности разработанных программных модулей подтвердили их высокую практическую ценность для проектных организаций. Модули продемонстрировали способность значительно повысить качество и обоснованность принимаемых решений, оптимизировать использование ресурсов и сократить время на анализ альтернативных стратегий проектирования.

Выводы по Главе 4

В четвертой главе представлено описание разработанных программных модулей поддержки принятия решений при выборе оптимальных стратегий проектирования в организационных системах. Исследование охватило ключевые аспекты разработки, включая обоснование необходимости программных модулей, их структуру и функциональные возможности, структуру базы данных, пользовательский интерфейс, а также апробацию и оценку эффективности.

Основные результаты, полученные в данной главе, включают:

Обоснование необходимости разработки программных модулей, продиктованное практическими и теоретическими соображениями, включая высокую вычислительную сложность алгоритмов, необходимость интеграции различных методов многокритериального анализа и динамический характер проектной среды.

Разработку программного модуля комплексного многокритериального анализа, реализующего алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев, интегрирующий методы МАИ, PROMETHEE и TOPSIS.

Разработку программного модуля оценки эффективности и качества стратегий проектирования, реализующего математическую модель комплексной оценки альтернативных стратегий на основе их финансовых, временных и качественных характеристик.

Проектирование и реализацию реляционной базы данных, оптимизированной для работы с многокритериальными данными и сложными иерархическими структурами, характерными для процессов принятия решений в проектных организациях.

Создание интуитивно понятного и функционально насыщенного пользовательского интерфейса, обеспечивающего эффективное взаимодействие с системой для пользователей различного уровня подготовки.

Проведение апробации разработанных программных модулей на базе реальных проектных организаций, что подтвердило их эффективность и практическую применимость.

Апробация программных модулей в реальных условиях проектных организаций показала значительное повышение эффективности процесса анализа и выбора стратегий проектирования. В частности, было достигнуто сокращение времени анализа в 5,5 раз при работе с 20 альтернативными стратегиями по сравнению с традиционными методами ручного анализа.

Статистический анализ с использованием критерия Фишера подтвердил статистически значимые различия между контрольной и экспериментальной группами по ключевым показателям эффективности, включая время принятия решений, процент проектов, завершенных в срок и в рамках бюджета, а также количество корректировок принятых решений в ходе реализации проекта.

Результаты, представленные в четвертой главе, демонстрируют успешную практическую реализацию теоретических разработок, описанных в предыдущих главах. Разработанные программные модули представляют собой эффективный инструмент поддержки принятия решений, способный значительно повысить качество и обоснованность выбора стратегий проектирования в проектных организациях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации решена научно-техническая задача повышения эффективности и качества принятия управленческих решений в проектных организациях на основе разработки математической модели оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования и комплексного алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев в организационных системах проектного типа. Основные результаты проведенного исследования заключаются в следующем:

1. Разработан комплексный алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев в организационных системах проектного типа. В отличие от существующих подходов, предложенный комплексный алгоритм адаптивно учитывает изменяющиеся условия проектной среды и предпочтения заинтересованных сторон, что обеспечивает обоснованный выбор стратегий проектирования и сокращения времени принятия решений. Эффективность алгоритма подтверждена результатами экспериментальных исследований, проведенных на базе АО «Можайское экспериментальное-механическое предприятие», где его применение привело к повышению точности выбора стратегий на 12 % при одновременном сокращении времени принятия решений.

2. Создана математическая модель оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования. Новизна модели заключается в комплексном учете многокритериальности проектных решений и возможности количественной оценкой качественных параметров, что позволяет повысить точность оценки альтернативных стратегий и минимизировать затраты на разработку проектов. Практическая значимость модели подтверждена результатами ее внедрения в ООО «Центр интеграции приложений», где было достигнуто повышение эффективности проектирования на 8% и оптимизация затрат на разработку проектов.

3. Разработаны программные модули поддержки принятия решений при выборе оптимальных стратегий проектирования в организационных системах. В предложенные программные модули интегрированы оригинальные (авторские) алгоритм и модель, что обеспечивает автоматизацию процесса многокритериального анализа и визуализацию результатов для повышения точности принимаемых решений. (свидетельства о регистрации прогр. № 2024684350 от 16.10.2024. название «Программное обеспечение поддержки принятия решений при выборе стратегий проектирования из множества альтернатив»).

Проведенное исследование вносит значительный вклад в развитие теории и практики интеллектуальной поддержки принятия решений в проектных организациях. Дальнейшие исследования могут быть направлены на адаптацию алгоритма к различным отраслям и интеграцию с технологиями искусственного интеллекта.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- ЛПР – лицо, принимающее решение;
- МАИ – метод анализа иерархий;
- СППР – система поддержки принятия решений;
- PROMETHEE – метод организации ранжирования предпочтений для обогащения оценок;
- TOPSIS – метод порядка предпочтения по сходству с идеальным решением;
- ELECTRE – метод исключения и выбора, отражающий реальность;
- КПЭ – ключевые показатели эффективности;
- NPV – чистая приведенная стоимость;
- IRR – внутренняя норма доходности;
- ROI – рентабельность инвестиций;
- ТСО – общая стоимость владения;
- СРМ – метод критического пути;
- PERT – метод оценки и анализа программ;
- MCDA – многокритериальный анализ решений;
- DEA – анализ среды функционирования;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аждер, Т.Б. Системы поддержки принятия решений и информационные системы / Т.Б. Аждер, О.А. Гуреева // Уральский научный вестник. – 2019. – Т. 6, № 3. – С. 46-48.
2. Артемова, Г.И. Применение метода анализа иерархий для поддержки принятия решений диспетчерской службы морского порта / Г.И. Артемова // Наука и техника транспорта. – 2017. – № 4. – С. 35-41.
3. Баранов, В.В. Методология и методы принятия решений в слабоструктурированных системах / В.В. Баранов // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2011). – 2011. – С. 29-33.
4. Баскаков, А.А. Роли и квалификация членов команды ИТ-проекта / А.А. Баскаков // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований. – 2020. – № 7. – С. 24-27.
5. Бахусова, Е.В. Методы поддержки принятия решений на основе нечеткой математики / Е.В. Бахусова // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2013. – № 9. – С. 371-376.
6. Бацаева, М.И. Оценка эффективности организационно-технологических решений при реконструкции зданий / М.И. Бацаева, А.В. Котляревская // Системные технологии. – 2023. – № 2 (47). – С. 59-65.
7. Белозёрова, Е.А. Анализ существующих методов и средств поддержки принятия решений / Е.А. Белозёрова, А.С. Боровский // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии. – 2019. – С. 127-131.
8. Бордовская, Н.В. Критерии оценки эффективности смешанных образовательных технологий, применяемых в вузе / Н.В. Бордовская, Е.А. Кошкина, Л.А. Мелкая, М.А. Тихомирова // Интеграция образования. – 2023. – Т. 27, № 1 (110). – С. 64-81.
9. Борзых, Н.Ю. К вопросу выбора критериев при проектировании корпоративных информационных систем / Н.Ю. Борзых, А.В. Калач,

Т.Е. Смоленцева // Вестник Воронежского Института ФСИН России. – 2022. – №4. С. 72-75.

10. Борзых, Н.Ю. К вопросу управления входным набором критериев при выборе стратегии проектирования корпоративных информационных систем / Н.Ю. Борзых, Т.Е. Смоленцева, М.В. Смирнов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. – 2023. – № 6. – С. 61-67.

11. Борзых, Н.Ю. Алгоритмизация выбора стратегии проектирования на основе построения компромиссных решений / Н.Ю. Борзых // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2023. – № 4 (31). – С. 85-90.

12. Борзых, Н.Ю. Многокритериальная оптимизация и управление показателями качества в задачах машинного обучения / Н.Ю. Борзых, Т.Е. Смоленцева // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. – 2024. – № 1. – С. 33-37.

13. Борзых, Н.Ю. Программная система оценки эффективности многокритериального выбора стратегий проектирования / Н.Ю. Борзых // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024680125.

14. Борзых, Н.Ю. Программное обеспечение поддержки принятия решений при выборе стратегий проектирования из множества альтернатив / Н.Ю. Борзых // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024684350.

15. Борзых, Н.Ю. Анализ применения методов многокритериальной оптимизации на этапе выбора стратегии проектирования корпоративных информационных систем / Н.Ю. Борзых, Т.Е. Смоленцева // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – №97-12. – С. 38-41

16. Борзых, Н.Ю. Анализ систем поддержки принятия решений, их классификаций и методов принятия решений / Н.Ю. Борзых // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 91-7. – С. 87-90.

17. Борзых, Н.Ю. Анализ применения методов при выборе критериев на этапе формирования требований к системе / Н.Ю. Борзых, Т.Е. Смоленцева // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. – 2023. – С. 1489-1492.

18. Борзых, Н.Ю. Алгоритмизация управления входным набором критериев при выборе стратегии проектирования / Н.Ю. Борзых, Т.Е. Смоленцева, А.В. Калач, К.А. Кузнецова, А.С. Зацарин // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. – 2024. – С. 1498-1502.

19. Борзых, Н.Ю. Модель оценки эффективности многокритериального выбора стратегии проектирования проектов в организационных системах / Н.Ю. Борзых // Современные тенденции и практические решения в науке. – 2024. – С. 1113-1119.

20. Борзых, Н.Ю. Модель оценки эффективности при выборе стратегии проектирования из множества альтернатив // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2024. – № 4. – С. 163-171.

21. Борзых, Н.Ю. Разработка программных модулей поддержки принятия решений при выборе оптимальных стратегий проектирования в организационных системах // Информатизация и связь. – 2025. – № 2. – С. 58-65.

22. Борисов, В.В. Метод и программные средства интеллектуальной поддержки принятия логистических решений / В.В. Борисов, А.В. Рязанов // Программные продукты и системы. – 2019. – № 4. – С. 673-681.

23. Бочкарев, А.М. Оценка соответствия критериев эффективности и ключевых параметров подсистем управления информационным обеспечением промышленного предприятия / А.М. Бочкарев, В.И. Фрейман // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2022. – № 41. – С. 71-89.

24. Бурукина, А.А. Методы и модели оценки эффективности проекта / А.А. Бурукина // Актуальные исследования. – 2020. – № 8 (11). – С. 107-110.

25. Будякина, Л.А. Исследование модели количественной оценки рисков безопасности корпоративной информационной системы и анализ ее эффективности / Л.А. Будякина // Молодежная научная школа кафедры "Защищенные системы связи". – 2021. – Т. 1, № 1 (3). – С. 41-44.

26. Вернер, А.А. Использование метода анализа иерархий при решении многокритериальных задач / А.А. Вернер, Т.А. Ступина // Материалы и методы инновационных исследований и разработок. – 2018. – С. 48-52.

27. Вишнеков, А.В. Интеграция методов поддержки принятия решений в автоматизированных СППР при разработке сложных проектов / А.В. Вишнеков, Е.М. Иванова // Проблемы информатики. – 2013. – №. 2 (19). – С. 56-64.

28. Воробьева, М.В. Анализ методов решения задач многокритериального принятия решений / М.В. Воробьева // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2022. – № 6. – С. 7-9.

29. Воронин, И.В. Роль систем поддержки принятия решений в управленческой деятельности организации / И.В. Воронин, А.И. Газин, В.С. Зияутдинов, Т.А. Золотарева, О.В. Селищев, Д.М. Скуднев // Актуальные вопросы современной науки. – 2019. – № 4 (24). – С. 23-27.

30. Высоцкая, И.А. Обоснование информационно-интеллектуальной поддержки принципов действия технических систем / И.А. Высоцкая // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 19-26.

31. Гаврилов, Е.С. Построение системы поддержки принятия решений на основе декомпозиции производственных процессов предприятия / Е.С. Гаврилов, П.Ю. Грошева, А.А. Островская, П.Г. Филиппов // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2020. – Т. 4, № 12 (108). – С. 22-28.

32. Гарафутдинова, Л.В. Интеграция ГИС и методов многокритериального анализа решений / Л.В. Гарафутдинова // Информационные технологии, системы и приборы в апк. агроинфо-2021. – 2021. – С. 48-51.

33. Гегерь, Э.В. Совершенствование методов обработки данных в информационных системах поддержки принятия управленческих решений / Э.В. Гегерь, Л.И. Евельсон, С.И. Федоренко, И.Р. Козлова // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 12-2. – С. 276-281.

34. Гринин, А.В. Разработка информационного обеспечения для системы поддержки принятия решений абитуриентом / А.В. Гринин // The World of Science Without Borders. – 2022. – С. 259-265.

35. Деревянко, Б.А. Современные методы и средства проектирования имитационных систем и систем поддержки принятия решений / Б.А. Деревянко // Мягкие измерения и вычисления. – 2019. – № 1 (14). – С. 4-11.

36. Двоурядкина, Н.Н. Факторный анализ при исследовании структуры данных / Н.Н. Двоурядкина, Н.А. Чалкина // Вестник Амурского государственного университета. – 2011. – №. 53. – С. 11-15.

37. Джон, Р. В чем ошибочность применения факторного анализа тестов, соответствующих теории ответов на тестовые задания (IRT)? / Р. Джон, Ф. Энди // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2020. – №. 4 (33). – С. 391-395.

38. Ермакова, Т.В. Метод анализа иерархий в задачах принятия решений / Т.В. Ермакова // Балтийский морской форум. – 2018. – С. 153-159.

39. Ефанов, Н.А. Сравнительный анализ существующих подходов к принятию управленческих решений в условиях неопределенности и систем поддержки принятия решений / Н.А. Ефанов // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2020. – Т. 3, № 2. – С. 129-137.

40. Живаева, А.А. Архитектура системы поддержки принятия решений при планировании процесса разработки программного обеспечения / А.А. Живаева, В.В. Долгов // Актуальные проблемы науки и техники. – 2018. – С. 73-75.

41. Жильченкова, В.В. Теоретические аспекты оценки эффективности стратегии на предприятии / В.В. Жильченкова, Е.И. Яценко, Д.Е. Ерошенков // Стратегия устойчивого развития в антикризисном управлении экономическими системами. – 2018. – С. 80-87.

42. Зайцева, И.В. Моделирование оптимального распределения трудовых ресурсов / И.В. Зайцева // Таврический вестник информатики и математики. – 2019. – №. 4 (45). – С. 59-77.

43. Загоруйко, Г.Б. Модель комплексной поддержки разработки интеллектуальных СППР / Г.Б. Загоруйко // Онтология проектирования. – 2019. – №. 4 (34). – С. 462-479.

44. Иванов, А.А. Анализ больших данных в задачах многокритериального выбора / А.А. Иванов, Н.П. Яшина // Моделирование и анализ данных. – 2022. Т. 12, № 2. – С. 5-19.

45. Иваев, М.И. Системы поддержки принятия решений: опыт применения, проблемы оптимизации / М.И. Иваев, О.С. Лапаева, Д.Д. Новикова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. – 2022. – № 4-2. – С. 56-59.

46. Калугин, А.С. Классификация и структура систем поддержки принятия решений / А.С. Калугин // Студенческий. – 2021. – № 20-1 (148). – С. 78-81.

47. Киселева, И.А. Methods of risk assessment and decision-making in investment projects amid economic instability / И.А. Киселева, М.С. Гаспарян, М.В. Карманов, В.И. Кузнецов // Journal of Management & Technology. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 57-68.

48. Клевец, Н.И. Сравнительный анализ методов многокритериального ранжирования альтернатив / Н.И. Клевец // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. – 2018. – № 2 (43). – С. 153-163.

49. Клоков, С.А. Сравнение и разработка методов многокритериального анализа принятия решений / С.А. Клоков // Молодой ученый. – 2021. – № 18 (360). – С. 30-33.

50. Козлова, К.А. Экспертные методы принятия решений: основные методы экспертных оценок / К.А. Козлова, О.И. Герасимец // Вестник магистратуры. – 2018. – № 2-1 (77). – С. 25-26.

51. Комаров, И.Д. Модель априорной оценки эффективности инновационных проектов в условиях неопределенности на ранних стадиях проектирования / И.Д. Комаров, Ю.М. Даньков, В.В. Истомина // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2011. – №. 10. – С. 41.

52. Космачева, И.М. Модель оценки эффективности конфигурации системы защиты информации на базе генетических алгоритмов / И.М. Космачева, Н.В. Давидюк, И.В. Сибикина, И.Ю. Кучин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. – № 3 (30).

53. Куимова, Е.И. Многокритериальные задачи оптимизации / Е.И. Куимова, Д.А. Рябов // Вестник Костромского государственного университета. – 2019. – №. 3(25). – С. 214-216.

54. Куусуль, М.Э. СППР бизнес-аналитика / М.Э. Куусуль, А.С. Сычев, Е.Г. Садовая, А.О. Антоненко // Математические машины и системы. – 2010. – №. 3. – С. 96-103.

55. Кузьмин, А.М. Метод анализа иерархий - один из инструментов выработки и принятия решений / А.М. Кузьмин, Е.А. Высоковская // Методы менеджмента качества. – 2019. – № 7. – С. 55.

56. Кравчук, В.И. Использование методов принятия решений при проектировании систем автоматического управления / В.И. Кравчук // Вестник магистратуры. – 2016. – №. 12-4 (63). – С. 26-29.

57. Крылов, А.В. Методологические и методические основы создания и использования интегрированных систем поддержки принятия решений / А.В. Крылов, М.Ю. Охтилев, В.А. Соболевский, Б.В. Соколов, В.А. Ушаков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – №. 11. – С. 963-974.

58. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений / О.И. Ларичев // Логос, 2000. – 296 с.
59. Львович, Я.Е. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Я.Е. Львович // Радио и связь, 1993. – 278 с.
60. Магомедов, Г.М. О системах поддержки принятия решений в информационных системах / Г.М. Магомедов, В.П. Александров // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. – 2022. – С. 255-258.
61. Мавлютдинова, А.Р. Метод анализа иерархий для эффективного принятия решений / А.Р. Мавлютдинова // Студенческий вестник. – 2019. – № 20-3 (70). – С. 86-87.
62. Машевская, О.В. Методика оценки инновационной деятельности промышленного предприятия / О.В. Машевская // Вестник Самарского государственного университета. – 2015. – №. 8 (130). – С. 97-105.
63. Мельковская, Е.А. Методом парных сравнений методы определения весовых коэффициентов компетенций / Е.А. Мельковская, К.Ю. Паньков // Вестник военного образования. – 2018. – №. 2 (11). – С. 83-86.
64. Мирошниченко, М.Б. Неформализованные методы принятия управленческих решений и методы их обеспечения / М.Б. Мирошниченко, А.Е. Колесник, А.С. Аванесов // Пространственная и структурная трансформация экономики России: проблемы и перспективы. – 2019. – С. 431-436.
65. Мищенко, А.В. Динамическая модель оценки эффективности проекта расширения производства / А.В. Мищенко, П.С. Кошелев // Стратегическое планирование и развитие предприятий. – 2018. – С. 320-324.
66. Мотченко, Л.А. Методологические основы системы поддержки принятия решений / Л.А. Мотченко, Д.В. Дьячков // Экономический вестник Донбасского государственного технического университета. – 2019. – № 2. – С. 67-74.

67. Мясникова, А.С. Модели оценки эффективности бизнеса: эволюция, сущность и критерии / А.С. Мясникова, Т.В. Касаева // Материалы докладов 51-ой Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. – 2018. – С. 251-254.

68. Набатова, Д.С. Математические и инструментальные методы поддержки принятия решений: учебник и практикум для вузов / Д.С. Набатова // Издательство Юрайт, 2023. – 292 с.

69. Эволюция систем поддержки принятия решений / О.О. Назарова // Дневник науки. – 2022. – № 3 (63).

70. Нестюркина, М.В. Ранжирование многопараметрических объектов / М.В. Нестюркина, А.Г. Пятиренко // Проблемы современной науки и образования. – 2016. – №. 18 (60). – С. 14-16.

71. Никулина, Ю.В. Математические модели и методы, используемые для принятия управленческих решений // Фундаментальные исследования, методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике. – 2017. – С. 160-164.

72. Ногин, В.Д. Множество и принцип Парето: Учебное пособие / В.Д. Ногин // Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2020. – С. 100.

73. Оболенский, Д.М. Концептуальная модель интеллектуальной образовательной экосистемы / Д.М. Оболенский, В.И. Шевченко // Экономика. Информатика. – 2020. – №. 2. – С. 390-401.

74. Оркин, В.В. Модель системы ситуационного управления в автоматизированной системе поддержки принятия решений / В.В. Оркин, О.Е. Нестеренко, С.А. Платонов // Вопросы оборонной техники. – 2021. – № 1-2 (151-152). – С. 40-45.

75. Пиявский, С.А. Механизмы принятия оптимальных решений в управлении развитием умного города / С.А. Пиявский, Д.В. Киселев // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, № 2 (36). – С. 232-245.

76. Плужник, Е.В. Программное обеспечение для управления распределенными приложениями в облачных вычислительных инфраструктурах / Е.В. Плужник, Е.В. Никульчев, О.И. Лукьянчиков, Е.Е. Ковшов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2015. – №. 11. – С. 547-551.

77. Подиновская, О.В. Метод анализа иерархий как метод поддержки принятия многокритериальных решений / О.В. Подиновская // Информационные технологии моделирования и управления. – 2010. – № 1 (60). – С. 71-80.

78. Подиновский, В.В. Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений / В.В. Подиновский // Физматлит. – 2007. – С 64.

79. Подиновский, В.В. Метод взвешенной суммы критериев в анализе многокритериальных решений: Pro et contra / В.В. Подиновский, М.А. Потапов // Бизнес-информатика. – 2013. – №. 3 (25). – С 41-48.

80. Подиновский, В.В. Многокритериальные задачи принятия решений: теория и методы анализа: учебник для вузов / В.В. Подиновский // Издательство Юрайт. – 2023. – С 486.

81. Полицын, С.А. Применение инструмента поддержки принятия решения при ведении проектов разработки программного обеспечения / С.А. Полицын // Современный менеджмент: проблемы, гипотезы, исследования. – 2018. – С. 140-148.

82. Помазан, Н.Д. Методы принятия управленческих решений / Н.Д. Помазан, К.Л. Стоякова, А.В. Бердюгин, О.А. Рожкова // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков (шифр -МКРНП). – 2024. – С. 148-152.

83. Пономарева, З.Р. Модели и методы разработки и принятия управленческих решений / З.Р. Пономарева // Проблемы и перспективы развития электроэнергетикии электротехники. – 2023. – С. 144-149.

84. Попова, В.М. Бизнес-планирование / В.М. Попова, С.И. Ляпунова, С.Г. Млодика // Учебник для вузов. – 2012. – 448 с.

85. Попова, Е.В. Системы поддержки принятия решений в деятельности современного предприятия / Е.В. Попова, Д.А. Замотайлова, Р.Р. Жоо // Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов. – 2019. – С. 107.

86. Попова, Е.В. Оценка альтернатив методом многокритериального анализа TOPSIS / Е.В. Попова, Д.А. Замотайлова, Р.Р. Жоо // Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов. – 2019. – С. 131.

87. Прангишвили, И.В. Системный подход и общесистемные закономерности / И.В. Прангишвили // СИНТЕГ. – 2000. – 521 с.

88. Прокофьев, О.В. Технология внедрения корпоративной системы поддержки принятия решений / О.В. Прокофьев, И.В. Голубкова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2020. – №. 3-1. – С. 217-220.

89. Проничкин, С.В. Многокритериальный анализ факторов практического использования результатов научно-технической программы / С.В. Проничкин, И.П. Тихонов, Е.Г. Раевская, Н.А. Сахарова // Химическая безопасность. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 227-236.

90. Путивцева, Н.П. Сравнительный анализ применения многокритериальных методов / Н.П. Путивцева, О.П. Пусная, С.В. Игрунова, Т.В. Зайцева, Е.В. Нестерова // Научный результат. Информационные технологии. – 2017. – №. 1(2). – С. 40-47.

91. Рудакова, Е.В. Решение задач по принятию решений с применением парето-метода / Е.В. Рудакова // Российская наука и образование сегодня: проблемы и перспективы. – 2018. – № 2 (21). – С. 39-40.

92. Рыков, А.С. Системный анализ: модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации / А.С. Рыков // Издательский Дом МИСиС, 2009. – 608 с.

93. Садовин, Н.С. О методах принятия решений в условиях частичной неопределенности / Н.С. Садовин, Т.Н. Кокоткина // Актуальные проблемы экономики современной России. – 2016. – № 3. – С. 41-46.

94. Савченков, И.И. Особенности создания и использования СППР для предприятий / И.И. Савченков // Наука. Образование. Инновации: современное состояние актуальных проблем. – 2023. – С. 22-28.

95. Середенко, Н.Н. Сравнительный анализ многокритериальных методов принятия решений / Н.Н. Середенко, Ю.А. Периков, А.А. Дружаев // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2010. – № 1. – С. 83-86.

96. Сивакова, Т.В. Применение методики агрегирования критериев для выбора инновационных изделий / Т.В. Сивакова, В.А. Судаков // Моделирование и анализ данных. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 86-95.

97. Сильнова, С.В. Поддержка принятия решений по управлению качеством работ исполнителей проектной организации / С.В. Сильнова, А.Г. Карамзина // Информационные технологии. Проблемы и решения. – 2022. – № 1 (18). – С. 70-75.

98. Скрипин, А.А. Анализ методов принятия решения для задач оптимизации производства на промышленных предприятиях / А.А. Скрипин, И.И. Скрипина // Мировая наука. – 2023. – № 1 (70). – С. 147-150.

99. Скрипина, И.И. Анализ и выбор математической модели с помощью метода анализа иерархий / И.И. Скрипина, Т.В. Зайцева, Н.П. Путивцева // Научный результат. Информационные технологии. – 2021. – №. 2. – С. 41-46.

100. Скрынник, Д.К. Аналитические методы принятия политических решений / Д.К. Скрынник // Вестник Института мировых цивилизаций. – 2018. – Т. 9, № 1 (18). – С. 97-99.

101. Сложеникина, Е.В. Математические модели поддержки принятия решений / Е.В. Сложеникина // Инновации. Наука. Образование. – 2020. – № 21. – С. 1117-1121.

102. Смирнов, Д.Е. Информационно-технологические средства поддержки решения задач общего анализа последствий принятия управленческих решений / Д.Е. Смирнов, Е.А. Слесарева, И.В. Усачева // Информатизация образования и науки. – 2020. – № 3 (47). – С. 123-131.

103. Стремиллова, А.А. Особенности систем поддержки принятия решений при их реализации в системе управления предприятий / А.А. Стремиллова, В.В. Осенний // Цифровизация экономики: направления, методы, инструменты. – 2020. – С. 181-183.

104. Танцева, Д.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений / Д.А. Танцева // Актуальные проблемы управления, экономики и подготовки профессиональных кадров. – 2018. – С. 16-18.

105. Тебекин, А.В. Общенаучные методы в системе классификации методов принятия управленческих решений в менеджменте / А.В. Тебекин, П.А. Тебекин // Маркетинг и логистика. – 2016. – № 6 (8). – С. 91-106.

106. Тебекин, А.В. Сравнительная оценка количественных и качественных методов принятия управленческих решений в условиях антикризисного управления / А.В. Тебекин // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2019. – № 3. – С. 221-231.

107. Терегулов, Д.Р. Система поддержки принятия решений на основе метода учета трансформации предпочтений / Д.Р. Терегулов, О.И. Сентябов // Информатика: проблемы, методология, технологии. – 2015. – С. 142-146.

108. Терехова, Л.А. Применение систем поддержки принятия решений для оптимизации процесса управления организацией в условиях перехода к цифровой экономике / Л.А. Терехова, Я.С. Шкловец // Арригиевские чтения

по теме: "Формирование новой парадигмы экономического мышления XXI века". – 2018. – С. 306-309.

109. Тимофеев, А.Г. О применимости матричных методов поддержки принятия решений в условиях цифровой трансформации / А.Г. Тимофеев, О.Г. Лебединская // Моисеевские чтения. Гуманитарные вызовы и угрозы XXI века. – 2023. – С. 500-506.

110. Турсуков, Н.О. Оценка эффективности нейронных сетей на основе критериев выполнения задачи классификации объектов / Н.О. Турсуков, И.И. Виксин, Е.А. Неверов, Е.Л. Шейнман, С.С. Чупров // XXVI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2023). – 2023. – С 153-156.

111. Федирко, С.Н. Технологии управления данными при проектировании системы поддержки принятия решений / С.Н. Федирко // Вестник Сыктывкарского университета. – 2020. – № 2 (35). – С. 59-68.

112. Хохлов, Д.С. Технологический аудит как инструмент поддержки принятия решений в кооперационных проектах университетов и предприятий / Д.С. Хохлов // Управление правами на РИД в кооперационных проектах университетов. – 2023. – С. 55-63.

113. Церцвадзе, Н.Т. Модель и классификация подходов оценки банковской эффективности / Н.Т. Церцвадзе // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 5 (130). – С. 1145-1148.

114. Чан, Т.Т.Т. Концептуальная модель оценки эффективности бизнес-процессов деревообрабатывающего предприятия / Т.Т.Т. Чан // Экономические науки. – 2020. – № 191. – С. 168-171.

115. Ченакал, В.А. Модель оценки эффективности экономической и ИТ-инфраструктурной составляющей деятельности предприятия / В.А. Ченакал // Новое в экономической кибернетике. – 2020. – № 3-4. – С. 101-114.

116. Черноруцкий, И.Г. Методы оптимизации в теории управления / И.Г. Черноруцкий // Питер. – 2004. – 256 с.

117. Черныш, Ю.А. Экономико-математическая модель оценки эффективности инновационных проектов / Ю.А. Черныш // Компьютерные технологии в моделировании, управлении и экономике. – 2018. – С. 124-126.

118. Шевченко, И.В. Проблематика использования методов и инструментов анализа иерархий и сетей в экономике / И.В. Шевченко, Н.В. Хубутя // Экономика: теория и практика. – 2022. – № 2 (66). – С. 71-77.

119. Энс, Е.С. Принятие управленческих решений в бизнес-среде на основе методов нечеткой логики, экспертных систем / Е.С. Энс // Теоретические и прикладные научные исследования: проблемы и пути их решения. – 2020. – С. 35-46.

120. Ярлова, Т.В. Методические подходы к оценке эффективности инновационных проектов / Т.В. Ярлова, Е.Т. Плевако // Естественно-гуманитарные исследования. – 2022. – №. 44 (6). – С. 341-344.

121. Alavi, M. Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues / M. Alavi, D.E. Leidner // MIS Quarterly. – 2021. – V. 25(1). – P. 107-136.

122. Borzykh, N.Yu. Algorithm for optimal selection of a strategy for designing corporate information systems using multi-criteria optimization / N.Yu. Borzykh, T.E. Smolentseva, N.N. Teterin, A.V. Kalach // 4th International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education (TELE). 2024.

123. Brans, J.P. A preference ranking organisation method: The PROMETHEE method for MCDM / J.P. Brans, P. Vincke // Management Science. – 1985. – V. 31(6). – P. 647-656.

124. Cowan, N. The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? / N. Cowan // Current Directions in Psychological Science. – 2020. – V. 19(1). – P. 51-57.

125. Chen, T. Xgboost: A scalable tree boosting system / T. Chen, C. Guestrin // In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – 2016. – P. 785–794.

126. Ghareeb, A.M. Utilising AHP and PROMETHEE for evaluating the performance of online services / A.M. Ghareeb, H.A. Hefny, N.R. Darwish // International Journal of Internet Technology and Secured Transactions. – 2021. – V. 11, I 3. –P. 307-327.

127. Greco, S. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys / S. Greco, J. Figueira, M. Ehrgott // Springer, 2nd edition. 2016.

128. Huseynova, B.K. TOPSIS decision making approach for evaluation of the performance of computer programming languages in higher education / B.K. Huseynova // Актуальные исследования. – 2022. – № 9 (88). – P. 9-12.

129. Kerzner, H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling / H. Kerzner // John Wiley & Sons. 2017.

130. Lee, G. Toward Agile: An Integrated Analysis of Quantitative and Qualitative Field Data on Software Development Agility / G. Lee, W. Xia // MIS Quarterly. – 2010, I. 34(1). – P. 87-114.

131. Norman, D. The Design of Everyday Things / D. Norman // Basic Books, 2013.

132. Payne, J.W. The Adaptive Decision Maker / J.W. Payne, J.R. Bettman, E.J. Johnson // Cambridge University Press, 1993.

133. Power, D.J. Decision Support Systems: A Historical Overview / D.J. Power // Handbook on Decision Support Systems 1. – 2008. – P. 121–140.

134. Project Management Institute. Pulse of the Profession 2021: Beyond Agility. PMI, 2021.

135. Roy, B. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods / B. Roy // Theory and Decision. – 1991. – V. 31. – P. 49-73.

136. Sailaubekov, N.T. Assessing the effectiveness of the personnel policy of an enterprise on the basis of a normative model of indicators of business activity / N.T.

Sailaubekov, A.B. Ernst // Economy and Business: Theory and Practice. – 2020, I. 5-2 (63). – P. 143-147.

137. Sprague, R.H. Building Effective Decision Support Systems / R.H. Sprague, E.D. Carlson // Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1982.

138. Standish Group. CHAOS Report 2020: Beyond Infinity // The Standish Group International, 2020.

139. Stipeč, A. Comparison of AHP, PAPRICA, PROMETHEE, DEX and TOPSIS on an application for employee selection / A. Stipeč, B.M. Boshkoska // Lecture Notes in Business Information Processing. – 2021. – V. 414. – LNBIP. – P. 44-54.

Приложение

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Центр интеграции приложений»

А.В. Марченко

_____ 2024



АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования Борзых Никиты Юрьевича «Модель и алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений в организационных системах проектного типа»

Комиссия в составе председателя – начальника аналитического отдела – проектного менеджера Кожевникова Ильи Сергеевича; членов комиссии: аналитика больших данных Немчиновича Валентина Алексеевича, системного аналитика Кончевского Артёма Игоревича, настоящим актом подтверждает использование основных результатов диссертации Борзых Никиты Юрьевича в практической деятельности департамента проектного развития ООО «Центр интеграции приложений».

Разработанная Борзых Н.Ю. математическая модель оценки эффективности и качества при выборе стратегии проектирования применяется в процессе оценки и выбора оптимальных стратегий реализации перспективных проектов организации в области инновационных разработок и технологических внедрений.

Председатель комиссии:

Начальник аналитического отдела —

Проектный менеджер

И.С. Кожевников

Члены комиссии:

Аналитик больших данных

Системный аналитик

В.А. Немчинович

А.И. Кончевский



АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования Борзых Никиты Юрьевича «Модель и алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений в организационных системах проектного типа»

Комиссия в составе председателя – начальника экономического отдела Царенко Ольги Ивановны; членов комиссии: зам. главного инженера Терерина Валерия Петровича, заместителя директора Бергера Артема Викторовича, настоящим актом подтверждает использование результатов диссертации Борзых Н.Ю. в процессе выбора и оценки стратегий проектирования в АО Можайское экспериментально-механическое предприятие.

Разработанный Борзых Н.Ю. комплексный алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений с динамическим управлением входным набором критериев используется в процессе выбора оптимальных стратегий проектирования с последующим принятием управленческих решений в планово-экономическом отделе.

Председатель комиссии:

Начальник экономического отдела

Царенко О. И.

Члены комиссии:

Зам. главного инженера

Тетерин В.П.

Заместитель директора

Бергер А.В.