

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра системного анализа и автоматического управления

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 5 курса 551 группы
направления 09.03.04 Программная инженерия
факультета компьютерных наук и информационных технологий
Моор Алисы Артуровны

Научный руководитель
доцент, к. ф.-м. н.

Е. П. Станкевич

Заведующий кафедрой
к. ф.-м. н., доцент

И. Е. Тананко

Саратов 2026

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В современных экономических, инженерных и информационных системах принятие решений часто связано с необходимостью одновременного учёта нескольких критериев эффективности. При выборе поставщиков, оборудования, инвестиционных проектов, маршрутов доставки или программных решений требуется анализировать совокупность показателей, таких как стоимость, качество, надёжность, производительность и уровень риска. Подобные задачи относятся к классу задач многокритериальной оптимизации [1, 2].

Особенностью многокритериальных задач является наличие нескольких критериев, которые могут противоречить друг другу. Улучшение одного показателя нередко приводит к ухудшению другого, вследствие чего поиск решения сводится не к нахождению экстремума одной функции, а к определению рационального компромисса между различными требованиями [1, 3]. Важную роль при этом играет концепция оптимальности по Парето, позволяющая выделять решения, не уступающие другим альтернативам одновременно по всем критериям [4, 5].

Для решения задач многокритериального выбора разработан широкий спектр методов, отличающихся принципами оценки альтернатив и интерпретацией результатов. Среди наиболее распространённых подходов выделяются методы свёртки критериев, методы, основанные на отношении доминирования, а также методы ранжирования альтернатив относительно идеального решения [6, 7]. Каждый из них обладает собственными преимуществами и ограничениями, что делает актуальной задачу сравнительного анализа результатов, полученных различными способами [8, 9, 10].

В связи с развитием информационных технологий возрастает потребность в программных средствах поддержки принятия решений, позволяющих автоматизировать процесс многокритериального анализа, выполнять расчёты различными методами и наглядно представлять полученные результаты. Разработка программного комплекса, объединяющего несколько подходов многокритериальной оптимизации в рамках единой системы, представляет практический интерес как для учебных, так и для прикладных задач.

Цель бакалаврской работы — разработка программного комплекса для решения задач многокритериальной оптимизации.

Поставленная цель определила **следующие задачи**:

1. исследовать теоретические основы многокритериальной оптимизации;
2. проанализировать существующие методы решения многокритериальных задач;
3. разработать архитектуру программного комплекса;
4. реализовать методы взвешенных коэффициентов, Парето и TOPSIS;
5. обеспечить сохранение и визуализацию полученных результатов;
6. провести экспериментальное исследование и сравнение реализованных методов.

Объектом исследования являются методы многокритериальной оптимизации. Предметом исследования выступают алгоритмы и программные средства реализации методов многокритериальной оптимизации в составе web-приложения.

Методологические основы исследования составляют труды иностранных авторов К. Miettinen, M. Ehrgott, C. L. Hwang, K. Yoon, E. Triantaphyllou, V. Pareto, K. Deb, а также работы российских исследователей О. И. Ларичева, В. В. Подиновского, В. Д. Ногина, А. И. Орлова, посвящённые многокритериальной оптимизации и теории принятия решений.

Теоретическая значимость работы. В работе систематизированы основные подходы к решению задач многокритериальной оптимизации, рассмотрены принципы формирования компромиссных решений, отношение доминирования и оптимальность по Парето. Проведён сравнительный анализ трёх методов, представляющих разные логики многокритериального выбора: свёртку критериев, анализ доминирования и ранжирование альтернатив относительно идеального решения.

Практическая значимость работы. Разработанный программный комплекс позволяет пользователю задавать многокритериальные задачи, выполнять расчёты несколькими методами, сохранять историю запусков, просматривать результаты в табличной форме и анализировать их с помощью графической визуализации. Комплекс может использоваться в учебных целях, а также как прототип системы поддержки принятия решений для прикладных задач выбора поставщиков, программных продуктов, оборудования, инвестиционных проектов и других альтернатив.

Структура и объём работы. Бакалаврская работа состоит из введения,

трёх разделов, заключения, списка использованных источников и двух приложений. Общий объём работы — 53 страницы, из них 47 страниц — основное содержание, включая 5 рисунков и 11 таблиц. Список использованных источников содержит 22 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел «Теоретические основы многокритериальной оптимизации» посвящён рассмотрению предметной области и базовых понятий, необходимых для дальнейшего анализа методов и проектирования программного комплекса.

В подразделе 1.1 раскрывается понятие многокритериальной оптимизации и приводится общая постановка задачи. Отмечается, что в отличие от однокритериальной оптимизации, где решение определяется по одному показателю, в многокритериальной задаче каждая альтернатива характеризуется набором значений критериев. Поэтому результат анализа должен учитывать не отдельный показатель, а вектор критериев, отражающий разные стороны качества решения.

В подразделе 1.2 рассматриваются принципы формирования компромиссных решений. Основное внимание уделяется отношению доминирования и понятию Парето-оптимальности. Показано, что Парето-оптимальное решение не может быть улучшено хотя бы по одному критерию без ухудшения другого. Множество таких решений образует фронт Парето и позволяет отделить рациональные альтернативы от заведомо неэффективных.

В подразделе 1.3 приведена классификация методов многокритериальной оптимизации. Рассмотрены методы свёртки критериев, методы ранжирования альтернатив, методы, основанные на принципе доминирования, итерационные и эволюционные методы. Такая классификация позволяет показать, что разные группы методов решают задачу выбора по-разному: одни преобразуют критерии в единую функцию, другие формируют рейтинг альтернатив, третьи выделяют множество недоминируемых решений.

В подразделе 1.4 анализируются основные проблемы и особенности многокритериальных задач. К ним относятся необходимость нормализации критериев, различная направленность оптимизации, субъективность задания весовых коэффициентов, рост вычислительной сложности при увеличении числа альтернатив и критериев, а также необходимость интерпретируемого представления

результатов. Эти особенности напрямую учитываются в требованиях к программной реализации.

В результате рассмотрения теоретических основ сделан вывод о целесообразности реализации в программном комплексе методов, различающихся по логике работы. Это позволяет не только получить итоговые рекомендации, но и показать пользователю, как выбор метода влияет на результат решения одной и той же задачи.

Второй раздел «Анализ методов многокритериальной оптимизации» посвящён детальному рассмотрению трёх методов, выбранных для программной реализации: метода взвешенных коэффициентов, метода Парето и метода TOPSIS.

В подразделе 2.1 рассматривается метод взвешенных коэффициентов. Его основная идея заключается в преобразовании многокритериальной задачи в однокритериальную путём агрегирования нормализованных значений критериев с использованием весовых коэффициентов. Для каждой альтернативы рассчитывается итоговая оценка, после чего альтернативы ранжируются по убыванию полученного значения. Преимуществами метода являются простота реализации, низкая вычислительная сложность и понятная интерпретация результата. Ограничением является высокая зависимость результата от выбранных весов и способа нормализации.

В подразделе 2.2 анализируется метод Парето. В отличие от метода взвешенных коэффициентов, он не объединяет критерии в одну функцию, а проверяет отношения доминирования между альтернативами. Альтернатива считается доминируемой, если существует другой вариант, который не хуже по всем критериям и лучше хотя бы по одному из них. В результате формируется множество Парето-оптимальных решений. Метод полезен для выявления рациональных альтернатив, однако сам по себе не всегда позволяет выбрать единственного победителя.

В подразделе 2.3 рассматривается метод TOPSIS. Метод основан на концепции идеального и антиидеального решений. После нормализации матрицы решений и учёта весов определяется гипотетическая альтернатива с наилучшими значениями критериев и альтернатива с наихудшими значениями. Для каждой реальной альтернативы вычисляются расстояния до этих двух точек и коэффициент относительной близости к идеальному решению. Чем больше

коэффициент, тем выше предпочтительность альтернативы. Метод удобен тем, что формирует полный рейтинг вариантов и наглядно интерпретирует результат через близость к идеалу.

В подразделе 2.4 выполнен сравнительный анализ методов. Показано, что метод взвешенных коэффициентов сразу формирует единую итоговую оценку, метод Парето выделяет множество недоминируемых вариантов, а TOPSIS ранжирует альтернативы по близости к идеальному решению. Различие в логике работы делает данные методы удобными для совместной реализации в одном программном комплексе.

В подразделе 2.5 обоснован выбор методов для программной реализации. Выбранные методы достаточно широко применяются в задачах многокритериального принятия решений, имеют понятную математическую основу и могут быть эффективно реализованы средствами современного web-приложения. При этом они позволяют продемонстрировать три разных подхода к анализу альтернатив: агрегирование критериев, анализ доминирования и ранжирование относительно идеального решения.

Третий раздел «Проектирование и реализация программного комплекса» посвящён практической части работы: постановке задачи разработки, проектированию архитектуры и базы данных, реализации алгоритмов, пользовательского интерфейса, визуализации, экспериментальному исследованию и тестированию.

В подразделе 3.1 сформулирована задача разработки программного комплекса. Требуется создать web-приложение, позволяющее пользователю задавать многокритериальную задачу, вводить критерии, веса, направления оптимизации и альтернативы, запускать выбранный метод оптимизации, сравнивать методы между собой, сохранять результаты расчётов и просматривать историю запусков. Такой набор функций соответствует полному циклу работы с задачей многокритериального выбора.

В подразделе 3.2 описана архитектура программного комплекса. Система реализована как клиент-серверное web-приложение. Пользовательский интерфейс разработан с использованием React и TypeScript. Серверная часть реализована на Python с применением FastAPI. Для хранения данных используется PostgreSQL, а развёртывание предусмотрено через Docker Compose. В архитектуре выделены frontend, API-слой, сервисный слой, алгоритмический слой и

база данных.

Frontend отвечает за ввод исходных данных, выбор метода, запуск расчётов и визуальное представление результатов. Backend принимает запросы, выполняет валидацию, обращается к сервисному слою, запускает алгоритмы многокритериальной оптимизации и сохраняет результаты. База данных обеспечивает долговременное хранение задач, критериев, альтернатив, запусков и результатов. Такое разделение ответственности упрощает сопровождение системы и создаёт основу для дальнейшего расширения.

В подразделе 3.3 спроектирована реляционная база данных. В структуру включены таблицы `optimization_tasks`, `criteria`, `alternatives`, `alternative_values`, `optimization_runs` и `optimization_results`. Таблица задач хранит название, описание и временные метки. Таблица `criteria` содержит критерии, их типы и веса. Таблица `alternatives` хранит варианты выбора, а `alternative_values` связывает альтернативы с критериями и содержит числовые значения. Таблицы `optimization_runs` и `optimization_results` используются для хранения истории запусков и итогов расчётов.

Такая модель данных отражает предметную область задачи многокритериальной оптимизации. Она позволяет сохранить исходные данные, выполнить несколько запусков для одной задачи, сопоставить результаты разных методов и вернуться к ранее выполненным расчётам. Для хранения дополнительных сведений, различающихся в зависимости от метода, предусмотрено JSON-поле с деталями расчёта.

В подразделе 3.4 описана реализация методов многокритериальной оптимизации. Вычислительная логика вынесена в отдельные модули: `weighted_sum.py`, `pareto.py` и `topsis.py`. Все методы используют единый формат входных данных: список критериев, список альтернатив, матрицу значений, веса и направления оптимизации. Перед расчётом выполняется проверка корректности данных, нормализация весов и обработка критериев с учётом их типа.

Для метода взвешенных коэффициентов используется `min-max` нормализация, после чего итоговая оценка вычисляется как взвешенная сумма нормализованных значений. Для метода Парето выполняется попарная проверка доминирования с учётом направленности каждого критерия. Для TOPSIS применяется векторная нормализация, формируются идеальное и антиидеальное решения, вычисляются расстояния до них и коэффициент относительной бли-

зости. Результаты всех методов приводятся к единому формату, что позволяет отображать их в одних и тех же компонентах интерфейса.

В подразделе 3.5 рассмотрена реализация пользовательского интерфейса и визуализации результатов. Основной сценарий работы начинается со страницы создания или редактирования задачи. Пользователь вводит название и описание, добавляет критерии, задаёт их типы *min* или *max* и весовые коэффициенты, после чего заполняет таблицу альтернатив и значений. Далее пользователь может запустить отдельный метод или режим сравнения методов.

Результаты расчёта отображаются в табличной и графической форме. Таблица содержит ранг альтернативы, её название, итоговую оценку и признак принадлежности к множеству Парето. Для визуального анализа используются компоненты на базе Plotly: столбчатая диаграмма ранжирования альтернатив, scatter-график фронта Парето для двухкритериальных задач и диаграмма сравнения методов. Также реализована страница истории, где отображаются ранее созданные задачи, выполненные запуски, использованные методы и время выполнения.

В подразделе 3.6 проведено экспериментальное исследование работы программного комплекса. В качестве демонстрационной задачи рассмотрен выбор поставщика. В задаче используются пять альтернатив: Поставщик А, Поставщик В, Поставщик С, Поставщик D и Поставщик Е. Оценка выполняется по четырём критериям: стоимость, качество, срок поставки и надёжность. Стоимость и срок поставки являются критериями минимизации, а качество и надёжность — критериями максимизации. Весовые коэффициенты критериев составляют соответственно 0,35; 0,30; 0,20 и 0,15.

В результате расчёта методом взвешенных коэффициентов наилучшей альтернативой стал Поставщик В со значением оценки 0,647249. Метод TOPSIS выбрал Поставщика С со значением коэффициента близости 0,646404. Метод Парето выделил множество недоминируемых решений, при этом Поставщик Е оказался доминируемым вариантом. Полученные результаты показывают, что разные методы могут давать различные рекомендации при одинаковых исходных данных, поскольку используют разные правила интерпретации компромисса между критериями.

В подразделе 3.7 выполнены тестирование и оценка эффективности программного комплекса. Backend-тесты реализованы с использованием `pytest`. Про-

верялась корректность ранжирования и нормализации весов в методе взвешенных коэффициентов, определение недоминируемых альтернатив в методе Парето, диапазон значений и сортировка результатов в TOPSIS, а также работоспособность endpoint /health. Полный набор тестов успешно выполнен: 5 passed.

Оценка эффективности реализована через измерение времени выполнения методов с использованием `time.perf_counter`. Время сохраняется в поле `execution_time_ms` таблицы `optimization_runs` и отображается пользователю в интерфейсе. В демонстрационной задаче время выполнения методов составило менее 1 мс: 0,2308 мс для метода взвешенных коэффициентов, 0,1917 мс для метода Парето и 0,4201 мс для TOPSIS. Это подтверждает, что для задач рассматриваемого размера программный комплекс выполняет расчёты практически мгновенно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были получены следующие основные результаты:

1. исследованы теоретические основы многокритериальной оптимизации, включая постановку задачи, принципы формирования компромиссных решений, отношение доминирования, оптимальность по Парето и основные проблемы многокритериального выбора;
2. проанализированы три метода многокритериальной оптимизации: метод взвешенных коэффициентов, метод Парето и метод TOPSIS; для каждого метода рассмотрены математическая основа, алгоритм применения, преимущества, ограничения и особенности программной реализации;
3. обоснован выбор методов для реализации в программном комплексе: выбранный набор охватывает три разные логики анализа — свёртку критериев, выделение недоминируемых решений и ранжирование по близости к идеальному решению;
4. разработана архитектура программного комплекса в виде клиент-серверного web-приложения с использованием React, TypeScript, FastAPI, Python, PSQL и Docker Compose;
5. спроектирована реляционная база данных для хранения задач многокритериальной оптимизации, критериев, альтернатив, значений критериев, запусков методов и результатов расчётов;
6. реализованы алгоритмы метода взвешенных коэффициентов, метода Па-

рето и TOPSIS, а также процедуры нормализации весов, нормализации значений критериев и валидации входных данных;

7. разработан пользовательский интерфейс для создания и редактирования задач, запуска расчётов, просмотра результатов, анализа графиков и работы с историей запусков;
8. проведено экспериментальное исследование на демонстрационной задаче выбора поставщика, показавшее различие результатов методов при одинаковых исходных данных;
9. выполнено тестирование backend-части программного комплекса, подтвердившее корректность основных вычислительных модулей и базового API-endpoint.

Экспериментальное исследование показало, что реализованные методы действительно отражают разные подходы к решению задач многокритериального выбора. Метод взвешенных коэффициентов формирует единую итоговую оценку с учётом весов критериев, метод Парето выделяет множество рациональных альтернатив без предварительного задания предпочтений, а TOPSIS ранжирует варианты относительно идеального и антиидеального решений. Поэтому совместное использование данных методов в одном программном комплексе повышает наглядность анализа и позволяет пользователю более осознанно интерпретировать полученные результаты.

Цель бакалаврской работы достигнута: разработан программный комплекс для решения задач многокритериальной оптимизации, обеспечивающий ввод исходных данных, запуск нескольких методов, сохранение истории расчётов, визуализацию результатов и сравнение полученных решений.

Дальнейшее развитие программного комплекса может быть связано с добавлением новых методов оптимизации, расширением покрытия API-тестами и frontend-тестами, реализацией импорта и экспорта задач, добавлением пользовательских учётных записей, улучшением механизмов обработки ошибок и развитием визуализации многомерных Парето-оптимальных решений.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

1. Miettinen K. *Nonlinear Multiobjective Optimization*. — Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. — 298 p.
2. Ehrgott M. *Multicriteria Optimization*. — 2nd ed. — Berlin: Springer, 2007. — 323 p.
3. Zeleny M. *Multiple Criteria Decision Making*. — New York: McGraw-Hill, 1982. — 563 p.
4. Подиновский В. В., Ногин В. Д. *Парето-оптимальные решения многокритериальных задач*. — М.: Наука, 1982. — 256 с.
5. Pareto V. *Manual of Political Economy*. — Oxford: Oxford University Press, 2014. — 708 p.
6. Deb K. *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. — Chichester: Wiley, 2001. — 536 p.
7. Hwang C. L., Yoon K. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. — Berlin: Springer-Verlag, 1981. — 404 p.
8. Marler R. T., Arora J. S. *Survey of Multi-Objective Optimization Methods for Engineering*. — *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2004. — Vol. 26. — P. 369–395.
9. Ларичев О. И. *Теория и методы принятия решений*. — М.: Логос, 2006. — 392 с.
10. Triantaphyllou E. *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. — Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. — 289 p.