

УДК 004.42

DOI: [10.26102/2310-6018/2024.47.4.004](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.47.4.004)

Разработка архитектуры программного обеспечения для поддержки принятия решений при выборе стратегий проектирования из множества альтернатив

А.В. Калач, Н.Ю. Борzych✉, Т.Е. Смоленцева

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация

Резюме. В статье рассмотрены этапы построения архитектуры программного обеспечения для многокритериального анализа стратегий проектирования, учитывающее компетенции лиц, принимающих решения (ЛПР). Рассматриваемое в работе программное обеспечение основано на алгоритме управления входным набором критериев, направленного на автоматизацию процесса выбора оптимальной стратегии в проектных организациях. Описана логическая структура реляционной базы данных, обеспечивающая эффективное хранение и обработку информации о ЛПР, критериях, альтернативах и их оценках. Представлена модульная архитектура программного обеспечения, реализованная на языке C# с использованием .NET Framework и паттерна MVVM. Особое внимание уделено модулю многокритериального анализа, реализующего комбинацию методов анализа иерархий, PROMETHEE и TOPSIS, что позволяет учесть различные аспекты многокритериальной оптимизации. Программное обеспечение предоставляет гибкие инструменты для управления критериями, учитывает интересы различных ЛПР и легко адаптируется к изменениям предпочтений. Представлены результаты сравнительного анализа эффективности разработанного продукта, демонстрирующие значительное сокращение времени на анализ стратегий по сравнению с ручной обработкой. Предлагаемая архитектура программного обеспечения нацелена на повышение точности и обоснованности принимаемых решений, сокращение временных и ресурсных затрат, а также повышение качества управления проектами в условиях многокритериальности и неопределенности.

Ключевые слова: многокритериальный анализ, поддержка принятия решений, программное обеспечение, ЛПР, МАИ, ПРОМЭТРИ, TOPSIS, модульная архитектура, проектные организации.

Для цитирования: Калач А.В., Борzych Н.Ю., Смоленцева Т.Е. Разработка архитектуры программного обеспечения для поддержки принятия решений при выборе стратегий проектирования из множества альтернатив. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;12(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1696> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.004

Developing a software architecture to support decision making when selecting design strategies from multiple alternatives

A.V. Kalach, N.Yu. Borzykh✉, T.E. Smolentseva

MIREA – Russian Technological University, Moscow, the Russian Federation

Abstract: The article examines the stages of building software architecture for multi-criteria analysis of design strategies, taking into account the competencies of decision-makers (DMs). The software considered in the work is based on an algorithm for managing the input set of criteria and is aimed at automating the process of selecting the optimal strategy in project organizations. The logical structure of a relational database is described, ensuring efficient storage and processing of information about DMs, criteria, alternatives, and their evaluations. A modular software architecture implemented in C#

using the .NET Framework and the MVVM pattern is presented. Special attention is paid to the multi-criteria analysis module, which implements a combination of the Analytic Hierarchy Process, PROMETHEE, and TOPSIS methods, allowing for various aspects of multi-criteria optimization to be taken into account. The software provides flexible tools for managing criteria, considers the interests of various DMs, and easily adapts to changes in preferences. The results of a comparative analysis of the developed product's efficiency are presented, demonstrating a significant reduction in time for strategy analysis compared to manual processing. The proposed software architecture aims to improve the accuracy and validity of decisions made, reduce time and resource costs, and enhance project management quality in conditions of multi-criteria and uncertainty.

Keywords: multi-criteria analysis, decision support, software, DMs, AHP, PROMETHEE, TOPSIS, modular architecture, project organizations.

For citation: Kalach A.V., Borzykh N.Yu., Smolentseva T.E. Developing a software architecture to support decision making when selecting design strategies from multiple alternatives. *Modeling, Optimization and Information Technologies*. 2024;12(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1696> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.004 (In Russ.).

Введение

В современных условиях проектные организации сталкиваются с необходимостью принятия решений, учитывающих множество часто противоречивых критериев и мнений лиц, принимающих решения (ЛПР). Ручная обработка такого объема информации и согласование различных точек зрения становится крайне трудоемким и неэффективным процессом. Автоматизация многокритериального выбора стратегий проектирования упрощает процесс принятия решений и повышает его объективность и обоснованность.

Таким образом, проблема заключается в отсутствии эффективного инструмента для автоматизации процесса многокритериального выбора стратегий проектирования. Такой инструмент должен обладать способностью анализировать большое количество взаимоисключающих критериев, учитывать различные точки зрения и компетенции ЛПР, а также обрабатывать значительные объемы данных. Целью данной работы является автоматизация обеспечения принятия оптимальных решений в проектных организациях посредством программного продукта. Для решения сформулированной выше проблемы предлагается разработать программное обеспечение, которое позволит автоматизировать и оптимизировать процесс многокритериального выбора проектных стратегий.

Данная работа основывается на алгоритме управления входным набором критериев для оптимального выбора стратегии проектирования, который был подробно описан и обоснован в предыдущих публикациях авторов [1–3].

Алгоритм включает следующие этапы:

- выявление ЛПР и их группировка по ролям: определяются ключевые ЛПР и их роли в проекте;
- анкетирование и определение компетенций: определяются компетенции и предпочтения ЛПР;
- формирование списка критериев: определяется перечень критериев, структурированных по категориям и уровням приоритета;
- назначение весовых коэффициентов и построение матрицы «Критерии-ЛПР»: назначаются весовые коэффициенты для каждой роли ЛПР;
- многокритериальный анализ: рассчитываются интегральные показатели значимости критериев и весовые коэффициенты;

– принятие решения: выбирается оптимальная стратегия проектирования на основе рассчитанных показателей.

Материалы и методы

Для организации хранения данных, автоматизации процессов обработки и анализа информации в рамках рассмотренного алгоритма была разработана база данных (БД). БД позволяет эффективно управлять большими объемами данных, обеспечивая их надежное хранение, быстрый доступ и удобство обработки.

БД должна хранить следующую информацию в виде таблиц, содержащих:

- информацию о ролях и компетенциях ЛПР;
- перечень критериев и их весовые коэффициенты;
- альтернативные стратегии проектирования;
- оценки альтернатив по критериям;
- компетенции ЛПР;
- весовые коэффициенты, назначенные каждым ЛПР для различных критериев.

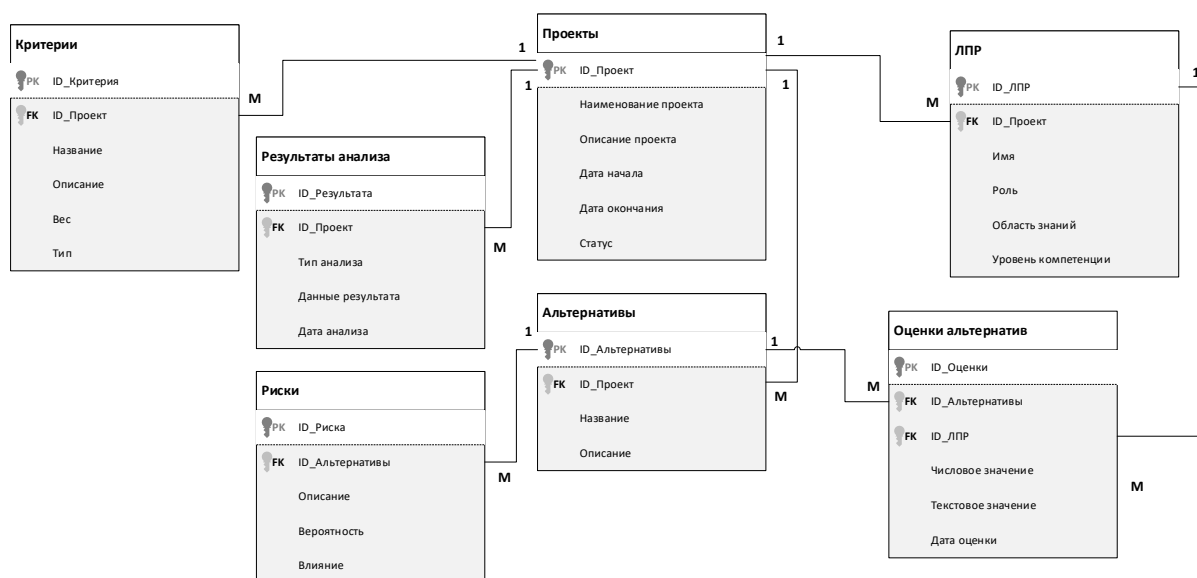


Рисунок 1 – Логическая база данных
Figure 1 – Logical database

Схема БД разработана для обеспечения гибкости и масштабируемости системы. Основные таблицы и их взаимосвязи представлены на Рисунке 1.

Для эффективного хранения и обработки данных выбрана реляционная модель БД, обеспечивающая оптимальную структуру для представления иерархии критериев и взаимосвязей компонентов системы.

Кроме того, реляционная модель обеспечивает высокую гибкость и масштабируемость, позволяя легко адаптировать систему к меняющимся требованиям проектных организаций. Эффективность выполнения сложных запросов с использованием SQL обеспечивает быструю обработку данных и получение результатов анализа. Надежная поддержка транзакций предотвращает anomalies и сохраняет согласованность данных при одновременном доступе нескольких пользователей или процессов. Простота интеграции реляционных БД с широким спектром инструментов анализа и визуализации расширяет возможности программного обеспечения по обработке и представлению результатов многокритериального анализа.

Разработанная логическая структура БД является ключевым компонентом программного обеспечения, обеспечивающим надежную основу для хранения и обработки данных, необходимых для эффективного многокритериального выбора стратегий проектирования в проектных организациях.

Разработка программного обеспечения реализуется с использованием модульной архитектуры, что обеспечит его гибкость и адаптивность. Модульная архитектура – это подход к разработке программного обеспечения, в котором приложение разбивается на независимые компоненты – модули. Каждый модуль выполняет определенную функцию и имеет свою логику и интерфейс для взаимодействия с другими модулями.

Основные модули продукта включают:

- модуль ввода данных, который предоставляет интерфейс для ввода и редактирования исходных данных, таких как перечень ЛПП, критерии и альтернативные стратегии;
- модуль многокритериального анализа, реализующий алгоритмы методов анализа иерархий (МАИ) [4–7], PROMETHEE [8] и TOPSIS [9–12] для расчета интегральных показателей значимости критериев;
- модуль визуализации, который предоставляет интерфейс для визуализации результатов анализа, ранжирования альтернатив и выбора оптимальной стратегии;
- модуль отчетности, отвечающий за генерацию отчетов по результатам анализа и принятия решений.

Модульная архитектура программного обеспечения основана на принципах, описанных в работах [13–15].

Программное обеспечение позволит ЛПП задавать исходные данные через интерфейс. Ввод данных включает добавление и редактирование ЛПП и их компетенций, формирование и редактирование списка критериев и их весовых коэффициентов, а также ввод альтернативных стратегий и их оценок по критериям.

Модуль многокритериального анализа реализует комбинацию методов МАИ, ПРОМЭТРИ и TOPSIS [16–22], что позволяет учесть различные аспекты многокритериальной оптимизации. Он рассчитывает интегральные показатели значимости критериев и их весовые коэффициенты, используя формулы метода PROMETHEE. Для оценки альтернативных стратегий применяется концепция идеального решения из метода TOPSIS, вычисляя расстояния до идеальных решений и относительные рейтинги приближения альтернатив оптимальному варианту.

Описанный компонент способен обрабатывать различные типы данных, включая количественные, качественные и нечеткие. Он учитывает предпочтения разных ЛПП, используя матрицу «Критерии-ЛПП» и весовые коэффициенты важности для каждой роли. Отличительной особенностью модуля является его адаптивность к изменениям, позволяющая оперативно актуализировать входные данные и пересчитывать оптимальную стратегию.

В основе аналитического процесса лежит интеграция методов МАИ, PROMETHEE и TOPSIS для расчета интегральных показателей значимости критериев и оценки альтернативных стратегий. Ключевые формулы, используемые в модуле, включают:

- формулу расчета обобщенных показателей предпочтения (метод PROMETHEE):

$$\pi(a, b) = \sum P(a, b) \cdot w_j, \quad (1)$$

где суммирование идет по всем j-ым ролям с учетом их весовых коэффициентов w_j ;

- формулу расчета интегрального показателя значимости критерия:

$$F(i) = \frac{1}{m \cdot (m-1) \cdot \Sigma(\pi(a,b) - \pi(b,a))}; \quad (2)$$

– формулу расчета весового коэффициента критерия:

$$W_i = \frac{\Phi(i)}{\Sigma \Phi(j)}. \quad (3)$$

На выходе получаем интегральные показатели значимости $\Phi(i)$ и весовые коэффициенты W_i для каждого критерия проектирования проекта.

Расчет расстояний до идеальных решений (метод TOPSIS):

$$S_{i+} = \sqrt{\Sigma(W_j \cdot (X_{ij} - X_{j+})^2)}, \quad (4)$$

$$S_{i-} = \sqrt{\Sigma(W_j \cdot (X_{ij} - X_{j-})^2)}, \quad (5)$$

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

Расчет относительного рейтинга приближения альтернативы оптимального варианта:

$$R_i = \frac{S_{i-}}{S_{i+} + S_{i-}}. \quad (6)$$

Альтернатива с наибольшим рейтингом R_i выбирается как оптимальная.

Описанные выше аналитические этапы позволяют комплексно оценить альтернативные стратегии, учитывая множество критериев и предпочтения различных ЛПР.

Модуль визуализации обеспечивает наглядное представление результатов анализа, включая графики и диаграммы для сравнения альтернативных стратегий, ранжирование стратегий по интегральным показателям значимости критериев, а также генерацию отчетов в формате PDF и Excel для дальнейшего анализа и представления результатов.

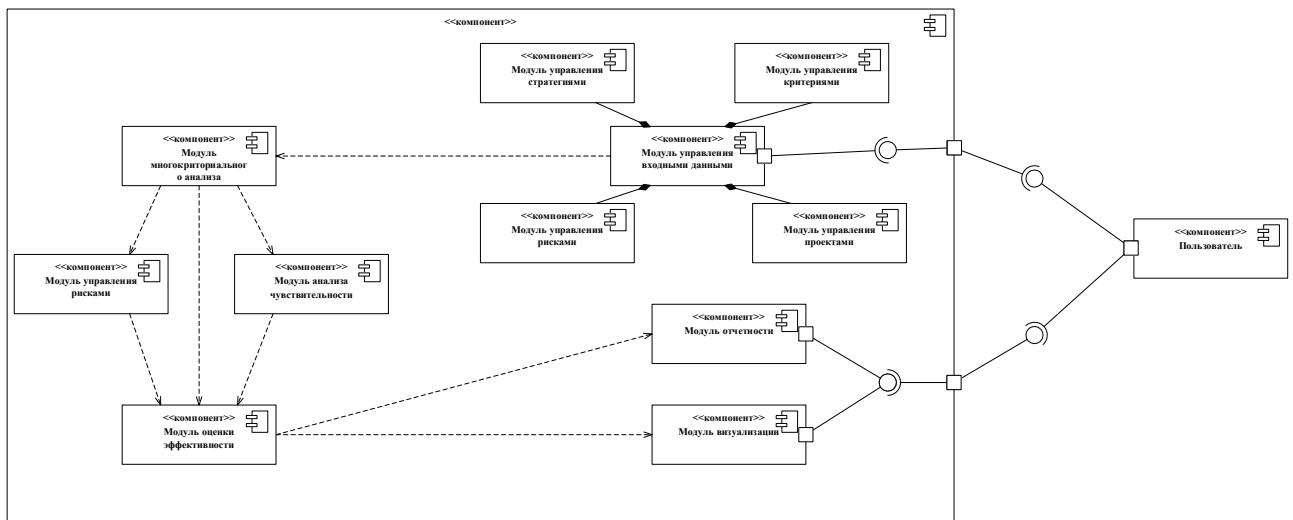


Рисунок 2 – Схема модулей программного обеспечения
Figure 2 – Software modules diagram

Рисунок 2 демонстрирует компоненты программного обеспечения и их взаимодействие. Включенные модули обеспечивают комплексный подход к многокритериальному анализу и выбору стратегий проектирования, начиная с ввода данных и заканчивая визуализацией и генерацией отчетов. Каждый модуль выполняет

заданные функции, которые способствуют эффективному и точному принятию решений в проектных организациях.

Результаты

Программный продукт реализован на языке C# с использованием .NET Framework. Выбор данной технологии обусловлен ее широкими возможностями для разработки desktop-приложений, а также наличием эффективных библиотек для работы с базами данных и математическими вычислениями.

Архитектура приложения построена на основе паттерна MVVM (Model-View-ViewModel), что обеспечивает четкое разделение бизнес-логики и представления, повышая тестируемость и сопровождаемость кода. Для работы с базой данных используется ORM Entity Framework, позволяющая абстрагироваться от конкретной СУБД и повысить продуктивность разработки.

Пользовательский интерфейс разработан с использованием технологии WPF (Windows Presentation Foundation), что позволяет создавать гибкие и масштабируемые интерфейсы. Для визуализации данных применяется библиотека OxyPlot, обеспечивающая широкие возможности для построения различных типов графиков и диаграмм.

Модуль многокритериального анализа реализован как отдельная библиотека классов, что позволяет легко переиспользовать его в других проектах или интегрировать в существующие системы. Ключевые алгоритмы МАИ, PROMETHEE и TOPSIS реализованы с использованием оптимизированных математических библиотек, таких как Math.NET Numerics, для обеспечения высокой производительности вычислений.

Система поддерживает многопользовательский режим работы с разграничением прав доступа, реализованный на основе ролевой модели. Для обеспечения безопасности данных используется шифрование на уровне базы данных и при передаче данных по сети.

Программный продукт обладает модульной архитектурой, позволяющей легко расширять его функциональность. Предусмотрена возможность подключения дополнительных модулей анализа и визуализации через систему плагинов, что обеспечивает гибкость и адаптивность решения под конкретные потребности проектных организаций.

Разработанная архитектура программного обеспечения учитывает современные подходы в системах поддержки принятия решений [23], что позволяет эффективно структурировать и использовать информацию о критериях, альтернативах и предпочтениях ЛПР. Кроме того, при проектировании системы были рассмотрены модели поддержки принятия решений, применяемые в других областях, таких как выбор образовательных программ [24], что обеспечило комплексный подход к решению задачи многокритериального анализа.

На Рисунке 3 представлена форма многокритериального анализа, демонстрирующая основные элементы интерфейса программного продукта и его функциональные возможности. Данная форма наглядно отображает процесс ввода данных, выбора методов анализа и визуализации результатов, что позволяет эффективно проводить многокритериальный анализ стратегий проектирования.

Интерфейс формы включает таблицу оценки стратегий по критериям, где пользователь может вводить и редактировать данные. Результаты анализа методами PROMETHEE и TOPSIS отображаются в отдельных секциях, предоставляя пользователю возможность сравнения ранжирования стратегий по разным подходам. Кнопка «Провести анализ» инициирует процесс вычислений и обновляет результаты на основе введенных данных.

Многокритериальный анализ

Оценки стратегий по критериям:

Стратегия	Стоимость разработки	Время реализации	Функциональность	Удобство использования	Масштабируемость
Разработка с нуля	1000000	12	0,9	0,8	0,7
Использование готового...	600000	8	0,7	0,6	0,8
Гибридный подход	800000	10	0,8	0,7	0,8

Провести анализ

Результаты метода PROMETHEE:

Стратегия	Чистый поток	Ранг
Разработка с нуля	1,6309	1
Гибридный подход	0,0923	2
Использование готового решения	0,0232	3

Результаты метода TOPSIS:

Стратегия	Относительная близость	Ранг
Разработка с нуля	0,8439	1
Гибридный подход	0,5160	2
Использование готового решения	0,1561	3

Рисунок 3 – Форма многокритериального анализа
Figure 3 – Multicriteria analysis form

Такая компоновка обеспечивает удобный доступ ко всем ключевым элементам процесса многокритериального анализа и позволяет получить комплексную оценку эффективности рассматриваемых стратегий.

Интеграция методов PROMETHEE и TOPSIS в одном интерфейсе демонстрирует комплексный подход к анализу, реализованный в рассмотренном программном продукте, что способствует принятию обоснованных решений при выборе оптимальной стратегии проектирования.

Интегрированный подход, объединяющий методы МАИ, PROMETHEE и TOPSIS, обеспечивает комплексный и точный анализ. Динамическое управление критериями и многоуровневая система весовых коэффициентов повышают адаптивность к специфике проектов и учитывают компетенции ЛПП. Универсальная обработка данных позволяет работать с различными типами информации, а высокая адаптивность к изменениям обеспечивает эффективность в динамичной проектной среде.

Указанные особенности обеспечивают комплексное решение для многокритериального анализа стратегий проектирования и отвечающих современным требованиям к гибкости и точности анализа.

Для демонстрации работы разработанного программного обеспечения рассмотрим пример выбора стратегии проектирования системы управления проектами для инжиниринговой компании. Данный пример иллюстрирует типичную задачу, с которой сталкиваются современные проектные организации.

В ходе предварительного анализа были определены пять альтернативных стратегий:

1. Внедрение готового решения Microsoft Project Server.
2. Адаптация типового решения на базе 1С: Управление проектной организацией.
3. Разработка прототипа на основе open-source платформы OpenProject.
4. Заказная разработка у специализированной IT-компании.
5. Собственная разработка силами внутреннего IT-отдела.

Для оценки стратегий были выбраны семь ключевых критериев, отражающих различные аспекты внедрения и эксплуатации системы. Оценка производилась по 10-балльной шкале, где 10 – наилучшее значение. Результаты оценки представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Оценка альтернативных стратегий
Table 1 – Evaluation of alternative strategies

Критерии	MPS	1С:УПО	OpenProject	Заказная разработка	Собственная разработка
Стоимость внедрения	4	6	8	3	5
Масштаб решения	9	7	5	8	6
Качество	8	7	6	8	7
Скорость внедрения	7	6	8	4	3
Скорость доработки	5	6	7	8	9
Техническая поддержка	9	8	5	6	7
Возможность кастомизации	6	7	9	9	10

Данный пример наглядно демонстрирует многокритериальность задачи выбора оптимальной стратегии проектирования. Каждая альтернатива имеет свои преимущества и недостатки, что затрудняет выбор без применения специальных методов анализа.

Разработанное программное обеспечение позволяет эффективно обрабатывать подобные многокритериальные задачи. На основе введенных данных, система выполняет: нормализацию оценок по каждому критерию, расчет весовых коэффициентов, применение методов МАИ, PROMETHEE и TOPSIS, формирование итогового ранжирования стратегий и визуализацию результатов анализа.

На Рисунке 4 представлен график, сравнивающий время анализа различного количества стратегий при ручной обработке и использовании разработанного программного обеспечения. Важно отметить, что указанное время включает в себя все этапы процесса: сбор данных, анкетирование ЛПП, формирование списка критериев, построение матрицы «Критерии-ЛПП» и проведение многокритериального анализа.

Под ручной обработкой подразумевается традиционный подход к анализу и выбору стратегий, включающий следующие этапы:

- сбор исходных данных путем анкетирования и интервьюирования экспертов;
- ручное формирование матриц попарного сравнения критериев и альтернатив;
- расчет весовых коэффициентов подручными средствами;
- ранжирование альтернатив методом взвешенных сумм в Excel;
- подготовка текстового отчета с обоснованием выбора.

Программное обеспечение автоматизирует перечисленные этапы, что позволяет существенно сократить трудозатраты и время анализа.

При ручной обработке время анализа линейно растет от 5 часов для 5 стратегий до 11 часов для 20 стратегий. Программное обеспечение значительно сокращает изначально заявленное время: с 0,5 часа для 5 стратегий, до 2 часов для 20 стратегий.

Сравнительный анализ эффективности демонстрирует, что при оценке 20 стратегий разработанное программное обеспечение выполняет задачу в 5,5 раза быстрее по сравнению с методом ручной обработки. Данное значительное сокращение временных затрат способствует повышению эффективности процесса анализа и селекции стратегий проектирования в проектных организациях.



Рисунок 4 – График времени, затрачиваемого на анализ стратегий
 Figure 4 – Graph of time spent on strategy analysis

Кроме того, оптимизация временных ресурсов позволяет расширить спектр рассматриваемых альтернатив и повысить обоснованность принимаемых решений в условиях ограниченных временных рамок.

Заключение

Таким образом, заявленная в работе проблема, заключающаяся в отсутствии эффективного инструмента для автоматизации процесса многокритериального выбора стратегий проектирования, решена путем реализации представленных этапов разработки адаптивного программного обеспечения для поддержки принятия решений при многокритериальном выборе стратегий проектирования в проектных организациях. Основываясь на комплексном подходе, объединяющем методы МАИ, PROMETHEE и TOPSIS, программное обеспечение демонстрирует значительные преимущества в процессе принятия решений.

Ключевые результаты исследования включают [1–3]:

1. Повышение точности и обоснованности решений: использование интегрированного подхода к многокритериальному анализу позволяет учитывать широкий спектр факторов и предпочтений ЛПР, что способствует взвешенному и обоснованному выбору стратегий.

2. Снижение затраченного времени анализа: на Рисунке 3 продемонстрирована автоматизация процесса принятия решений, позволяющая сократить время анализа до 5,5 раз при рассмотрении 20 стратегий, что значительно повышает эффективность работы проектных организаций.

3. Повышение контроля над управлением проектами: программное обеспечение отличается гибкостью и способностью быстро адаптироваться к изменениям в предпочтениях ЛПР и условиях проекта, что способствует эффективному достижению проектных целей и повышению общего качества управления.

4. Комплексный учет разнородных критериев: разработанный алгоритм позволяет эффективно обрабатывать количественные, качественные и нечеткие данные, что критично при анализе проектных решений.

5. Повышение объективности принятия решений: использование формализованных методов многокритериального анализа снижает влияние субъективных факторов на процесс выбора стратегии.

Практическая значимость разработанного программного обеспечения заключается в его способности существенно трансформировать процессы принятия решений в проектных организациях. Реализация на языке C# с использованием .NET Framework и применение паттерна MVVM обеспечивают высокую производительность, масштабируемость и удобство сопровождения программного продукта. Модульная архитектура и использование современных технологий, таких как Entity Framework для работы с базой данных и WPF для создания пользовательского интерфейса, обеспечивают гибкость и адаптивность продукта к различным требованиям проектных организаций.

Перспективы дальнейших исследований включают:

- интеграцию методов машинного обучения для повышения точности прогнозирования результатов проектов;
- разработку модулей для учета специфических отраслевых требований и стандартов;
- исследование возможностей применения разработанного подхода в смежных областях, таких как управление портфелями проектов и стратегическое планирование.

Рассмотренное в работе программное обеспечение демонстрирует свою эффективность, гибкость и практическую значимость в контексте многокритериального выбора стратегий проектирования. Предложенная система поддержки принятия решений может быть адаптирована для различных отраслей и типов проектов, что открывает широкие перспективы для ее внедрения и дальнейшего развития.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Борzych Н.Ю. Алгоритмизация выбора стратегии проектирования на основе построения компромиссных решений. *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2023;(4):85–90. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.45.81.009>
Borzykh N.Yu. Algorithmization of the choice of design strategy based on the construction of compromise solutions. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2023;(4):85–90. (In Russ.). <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.45.81.009>
2. Борzych Н.Ю. Анализ систем поддержки принятия решений, их классификаций и методов принятия решений. *Тенденции развития науки и образования*. 2022;(91-7):87–90.
3. Калач А.В., Смоленцева Т.Е., Борzych Н.Ю. К вопросу выбора критериев при проектировании корпоративных информационных систем. *Вестник Воронежского института ФСИН России*. 2022;(4):72–77.
Kalach A.V., Smolentseva T.E., Borzykh N.Y. On the issue of selection of criteria in the design of corporate information systems. *Vestnik of Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service*. 2022;(4):72–77. (In Russ.).
4. Saaty T.L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Aestimum*. 1994;24(24):75–105. <https://doi.org/10.13128/Aestimum-7138>
5. Латыпова В.А. Сравнительный анализ и выбор программных средств, реализующих метод анализа иерархий. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2018;6(4):322–347. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2018.23.4.024>
Latypova V.A. A comparative analysis and a choice of tools implementing analytic hierarchy process. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2018;6(4):322–347. (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2018.23.4.024>
6. Скрипина И.И., Зайцева Т.В., Путивцева Н.П. Анализ и выбор математической модели с помощью метода анализа иерархий. *Научный результат*.

- Информационные технологии*. 2021;6(2):41–46. <https://doi.org/10.18413/2518-1092-2021-6-2-0-6>
- Skipina I.I., Zaitseva T.V., Putivtseva N.P. Analysis and selection of a mathematical model using the hierarchy analysis method. *Research Result. Information Technologies*. 2021;6(2):41–46. (In Russ.). <https://doi.org/10.18413/2518-1092-2021-6-2-0-6>
7. Романчук В.М. Проблема адекватности метода анализа иерархий. *Моделирование и анализ данных*. 2020;10(4):79–87. <https://doi.org/10.17759/mda.2020100407>
Romanchuk V.M. The Problem of Adequacy of the Analytic Hierarchy Process. *Modelling and Data Analysis*. 2020;10(4):79–87. (In Russ.). <https://doi.org/10.17759/mda.2020100407>
8. Бондаренко Ю.В., Азиз А.И. Разработка алгоритма распределения ресурсов в распределенных системах на основе двухкритериальной оценки процессов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(3). (На англ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.34.3.016>
Bondarenko Y.V., Azeez A.E. Development of an algorithm for resource allocation in distributed systems based on two-criteria process assessment. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2021;9(3). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.34.3.016>
9. Халицкая К. Выбор технологий с помощью метода TOPSIS. *Форсайт*. 2020;14(1):85–96. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2020.1.85.96>
Halicka K. Technology Selection Using the TOPSIS Method. *Foresight and STI Governance*. 2020;14(1):85–96. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2020.1.85.96>
10. Шершнева Р.В., Радаев А.В., Коробов А.В., Яцало Б.И. Модуль группового многокритериального анализа решений на основе нечеткого расширения метода TOPSIS. *Программные продукты и системы*. 2022;(2):160–170. <https://doi.org/10.15827/0236-235X.138.160-170>
Shershnev R.V., Radaev A.V., Korobov A.V., Yatsalo B.I. A group multicriteria decision analysis module based on fuzzy extension of TOPSIS method. *Software & Systems*. 2022;(2):160–170. (In Russ.). <https://doi.org/10.15827/0236-235X.138.160-170>
11. Сеидова И., Мамедова Л. Применение метода TOPSIS для принятия решений. *Sciences of Europe*. 2023;(112):63–68. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7708531>
Seyidova I., Mamedova L. Application of TOPSIS method for decision making. *Sciences of Europe*. 2023;(112):63–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7708531>
12. Мамедова М.Г., Джабраилова З.Г. Многокритериальная оптимизация задач управления человеческими ресурсами на базе модифицированного метода TOPSIS. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015;2(4):48–62.
Mamedova M., Dzhabrailova Z. Multi criteria optimization of human resource management problems based on the modified TOPSIS method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015;2(4):48–62. (In Russ.).
13. Сахарчук Е.И., Байкина Е.А. Принципы проектирования системы оценочных средств по образовательным программам модульной архитектуры в вузе. *Перспективы науки и образования*. 2020;(2):138–148. (На англ.). <https://doi.org/10.32744/pse.2020.2.11>
Sakharchuk E.I., Baykina E.A. Principles for designing a system of assessment tools for modular architecture educational programmes in higher education. *Perspectives of Science and Education*. 2020;(2):138–148. <https://doi.org/10.32744/pse.2020.2.11>

14. Микрюков А.А., Трембач В.М., Данилов А.В. Модули организационно-технических систем для решения задач адаптации в быстроменяющейся внешней среде. *Открытое образование*. 2020;24(5):82–90. <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2020-5-82-90>
Mikryukov A.A., Trembach V.M., Danilov A.V. Modules of Organizational and Technical Systems for Solving Problems of Adaptation in a Rapidly Changing Environment. *Open Education*. 2020;24(5):82–90. (In Russ.). <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2020-5-82-90>
15. Богачкова Л.Ю., Сорокин А.В. Разработка программного комплекса для поддержки принятия решений по оценке энергоэффективности муниципалитетов. *Современная экономика: проблемы и решения*. 2021;(12):191–199. (На англ.). <https://doi.org/10.17308/meps.2021.12/2742>
Bogachkova L.Yu., Sorokin A.V. Development of a software package for decision support for estimating energy efficiency of municipalities. *Modern Economics: Problems and Solutions*. 2021;(12):191–199. <https://doi.org/10.17308/meps.2021.12/2742>
16. Петровский А.Б. *Теория принятия решений*. Москва: Издательский центр «Академия»; 2009. 400 с.
17. Масляев М.А., Хватов А.А. Определение аналитических моделей динамических систем в форме дифференциальных уравнений на основе многокритериальной эволюционной оптимизации. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2023;23(1):97–104. (На англ.). <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2023-23-1-97-104>
Maslyayev M.A., Hvatov A.A. Multiobjective evolutionary discovery of equation-based analytical models for dynamical systems. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2023;23(1):97–104. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2023-23-1-97-104>
18. Клименко И.С. Моделирование систем защиты информации на основе многокритериальной оптимизации. *Современная наука и инновации*. 2023;(1):8–14. (На англ.). <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2023.1.1>
Klimenko I.S. Modeling of information security systems based on multicriteria optimization algorithms. *Modern Science and Innovations*. 2023;(1):8–14. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2023.1.1>
19. Куимова Е.И., Рябов Д.А. Многокритериальные задачи оптимизации. *Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика*. 2019;25(3):214–217. <https://doi.org/10.34216/2073-1426-2019-25-3-214-216>
Kuimova Ye.I., Ryabov D.A. Multi-criteria problem of optimisation. *Vestnik of Kostroma State University. Series: Pedagogy. Psychology. Sociokinetics*. 2019;25(3):214–217. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2073-1426-2019-25-3-214-216>
20. Аристова Е.М., Беляев А.С., Десятириков Ф.А., Десятирикова Е.Н. Многокритериальная оптимизация выбора платформы разработки программного обеспечения. *Информационные технологии*. 2023;29(11):595–603. <https://doi.org/10.17587/it.29.595-603>
Aristova E.M., Belyaev A.S., Desyatirikov F.A., Desyatirikova E.N. Multicriteria Optimization of Software Development Platform Selection. *Information Technologies*. 2023;29(11):595–603. (In Russ.). <https://doi.org/10.17587/it.29.595-603>

21. Грешилов А.А. Некорректные задачи и многокритериальное программирование. *Инженерный журнал: наука и инновации*. 2015;(2). <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2015-2-1367>
Greshilov A.A. Ill-posed problems and multicriteria programming. *Engineering Journal: Science and Innovation*. 2015;(2). (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2015-2-1367>
22. Подоплелова Е.С. Анализ методов многокритериального принятия решений на примере задачи ранжирования. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2023;(3):118–125. <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2023-3-118-125>
Podoplelova E.S. Selection of multi-criteria analysis methods on the example of the problem of ranking. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2023;(3):118–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2023-3-118-125>
23. Старцева Е.Б., Никулина Н.О., Малахова А.И. Организация знаний для интеллектуальной системы поддержки принятия решений. *Системная инженерия и информационные технологии*. 2021;3(3):17–22. (На англ.). https://doi.org/10.54708/8/26585014_2021_33717
Startseva E.B., Nikulina N.O., Malakhova A.I. Knowledge organization for intelligent decision support system. *Systems Engineering and Information Technologies*. 2021;3(3):17–22. https://doi.org/10.54708/8/26585014_2021_33717
24. Старцева Е.Б., Никулина Н.О., Драчева И.В. Основы и модели интеллектуальной поддержки принятия решений при поступлении в вуз. *Системная инженерия и информационные технологии*. 2021;3(2):17–25. (На англ.). https://doi.org/10.54708/26585014_2021_32617
Startseva E.B., Nikulina N.O., Dracheva I.V. Basis and models for intelligent decision-making support for admission to the university. *Systems Engineering and Information Technologies*. 2021;3(2):17–25. https://doi.org/10.54708/26585014_2021_32617

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Калач Андрей Владимирович, доктор химических наук, профессор кафедры прикладной математики, МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация.
e-mail: a_kalach@mail.ru
ORCID: [0000-0002-8926-3151](https://orcid.org/0000-0002-8926-3151)

Andrey V. Kalach, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Department of Applied Mathematics, MIREA – Russian Technological University, Moscow, the Russian Federation.

Борzych Никита Юрьевич, аспирант кафедры практической и прикладной информатики, МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация.
e-mail: allyru@yandex.ru
ORCID: [0000-0002-0663-4958](https://orcid.org/0000-0002-0663-4958)

Nikita Yu. Borzykh, Postgraduate student, Department of Practical and Applied Informatics, MIREA – Russian Technological University, Moscow, the Russian Federation.

Смоленцева Татьяна Евгеньевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры практической и прикладной информатики, МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация.
e-mail: smoltan@bk.ru

Tatiana E. Smolentseva, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Practical and Applied Informatics, MIREA – Russian Technological University, Moscow, the Russian Federation.

ORCID: [0000-0003-4810-8734](https://orcid.org/0000-0003-4810-8734)

*Статья поступила в редакцию 27.09.2024; одобрена после рецензирования
04.10.2024; принята к публикации 10.10.2024.*

*The article was submitted 27.09.2024; approved after reviewing 04.10.2024;
accepted for publication 10.10.2024.*