
ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Научная статья

УДК 519.816; DOI: 10.61260/2218-13X-2024-4-163-171

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ВЫБОРЕ СТРАТЕГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗ МНОЖЕСТВА АЛЬТЕРНАТИВ

✉ Борzych Никита Юрьевич.

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

✉ borzyh@mirea.ru

Аннотация. Представлена математическая модель оценки эффективности при выборе стратегии проектирования из множества альтернатив, обеспечивающая комплексный учет многокритериальности проектных решений и возможность количественной оценки параметров. Модель основана на интегральном показателе эффективности, учитывающем финансовые затраты, временные ресурсы и качественные характеристики проектов. Предложен механизм динамической корректировки весовых коэффициентов, позволяющий адаптировать модель к изменяющимся условиям проектной среды. Продemonстрировано использование модели оценки эффективности на примере проектирования автоматизированной системы мониторинга пожарной безопасности. Использование линейной нормализации разнородных критериев и метода анализа иерархий для определения весовых коэффициентов обеспечивает математическую строгость и достоверность получаемых результатов. Разработанная модель актуальна для проектных организаций с повышенными требованиями к надежности и безопасности систем, включая организации, выполняющие разработки для МЧС России.

Ключевые слова: многокритериальный анализ, оценка эффективности, проектные организации, поддержка принятия решений, стратегия проектирования, интегральный показатель

Для цитирования: Борzych Н.Ю. Модель оценки эффективности при выборе стратегии проектирования из множества альтернатив // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2024. № 4. С. 163–171. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-4-163-171.

Scientific article

MODEL FOR EVALUATING EFFECTIVENESS WHEN CHOOSING A DESIGN STRATEGY FROM MULTIPLE ALTERNATIVES

✉ Borzykh Nikita Yu.

MIREA – Russian technological university, Moscow, Russia

✉ borzyh@mirea.ru

Abstract. The paper presents a mathematical model for evaluating effectiveness when choosing a design strategy from multiple alternatives, providing comprehensive consideration of multi-criteria design solutions and the ability to quantitatively assess parameters. The model is based on an integral efficiency indicator that takes into account financial costs, time resources, and qualitative characteristics of projects. A mechanism for dynamic adjustment of weighting coefficients is proposed, allowing the model to adapt to changing project environment conditions. The application of the efficiency evaluation model is demonstrated using the example of designing an automated fire safety monitoring system. The use of linear normalization of heterogeneous

Criteria and the analytic hierarchy process for determining weighting coefficients ensures mathematical rigor and reliability of the obtained results. The developed model is relevant for design organizations with increased requirements for system reliability and safety, including organizations developing solutions for EMERCOM of Russia.

Keywords: multi-criteria analysis, efficiency evaluation, design organizations, decision support, design strategy, integral indicator

For citation: Borzykh N.Yu. Model for evaluating effectiveness when choosing a design strategy from multiple alternatives // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2024. № 4. P. 163–171. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-4-163-171.

Введение

Проектные организации регулярно сталкиваются с необходимостью выбора оптимальных стратегий проектирования при разработке различных систем и комплексов [1]. По данным исследований, до 11,4 % инвестиций в проекты расходуются нерационально из-за неэффективных решений на этапе выбора стратегии проектирования. В условиях современных требований к проектам и ограниченности ресурсов повышение эффективности процесса выбора стратегий проектирования становится критически важным для организаций с повышенными требованиями к надежности систем. Современные проекты характеризуются высокой степенью неопределенности и сложности, что требует применения современных методов оценки [2, 3].

Проблема оптимизации выбора стратегии проектирования актуальна для проектных организаций, разрабатывающих программно-аппаратные комплексы для МЧС России, где ошибки в выборе стратегии проектирования могут привести к критическим последствиям при ликвидации чрезвычайных ситуаций. К таким системам относятся:

- автоматизированные системы оперативного управления;
- системы мониторинга и прогнозирования ЧС;
- комплексы поддержки принятия решений для аварийно-спасательных формирований;
- интегрированные системы безопасности объектов.

Методы исследования

В основе разработанной модели лежит комплексный подход к оценке эффективности стратегий проектирования, базирующийся на интегральном показателе эффективности [4]. Методология исследования включает:

- построение интегрального показателя эффективности на основе финансовых затрат, временных ресурсов и качественных характеристик;
- линейную нормализацию разнородных критериев к единой шкале оценки;
- определение весовых коэффициентов на основе экспертных оценок;
- оценку соответствия решений установленным ограничениям.

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. Взаимосвязь компонентов модели представлена на рисунке.

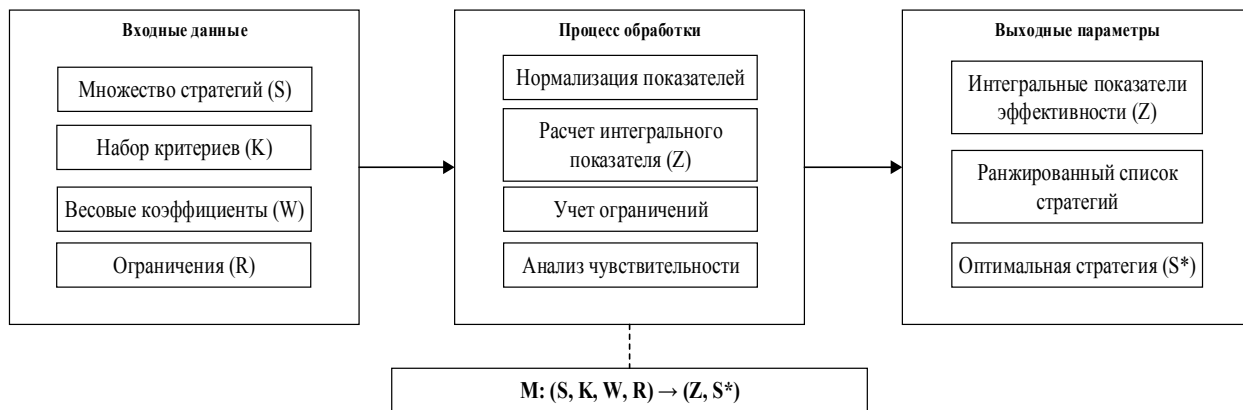


Рис. Модель оценки эффективности при выборе стратегии проектирования из множества альтернатив

1. Входные параметры модели:

- множество альтернативных стратегий проектирования $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$;
- набор критериев эффективности $K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$;
- весовые коэффициенты критериев $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$;
- ограничения по ресурсам и нормативным требованиям $R = \{R_1, R_2, \dots, R_p\}$.

2. Процесс обработки данных:

- нормализация исходных показателей;
- расчет интегрального показателя эффективности Z ;
- учет ограничений и неопределенностей;
- анализ чувствительности результатов.

3. Выходные параметры модели:

- интегральные показатели эффективности для каждой стратегии $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$;
- ранжированный список стратегий проектирования;
- оптимальная стратегия S^* .

Формализованное представление модели показано в формуле:

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

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

В качестве инструментов исследования использованы методы системного анализа, математического моделирования, теории принятия решений и экспертных оценок. Достоверность результатов обеспечивается математической строгостью используемых методов и согласованностью с существующими теоретическими положениями.

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках проведенной работы предлагается модель оценки эффективности при выборе стратегии проектирования [4]. Ключевым элементом модели является интегральный показатель эффективности, описанный формулой:

$$Z = \alpha \cdot F + \beta \cdot L + \gamma \cdot Q \rightarrow \min ,$$

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 – минимизация интегрального показателя Z . Выбор минимизации интегрального показателя эффективности обусловлен структурой входящих

в него компонентов. Поскольку F отражает финансовые затраты, L – временные затраты, а Q – обратную величину качества (то есть отклонение от идеального качества), минимизация Z обеспечивает оптимальное соотношение между минимальными затратами ресурсов и максимальным качеством решения. При этом показатель качества Q предварительно преобразуется по формуле:

$$Q = 1 - \frac{Q'}{Q'_{\max}},$$

где Q' – исходное значение показателя качества; $Q'_{\max}$ – максимально возможное значение показателя качества в используемой шкале оценок.

В интегральном показателе эффективности Z показатель качества Q является обратной величиной и отражает степень отклонения от идеального качества системы. Чем выше фактическое качество системы Q' , тем меньше значение показателя Q , что соответствует общей логике минимизации интегрального показателя Z . При максимальном качестве системы Q стремится к нулю, что вносит положительный вклад в оптимизацию общего показателя эффективности.

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:

$$F = \frac{F - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}},$$

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

Весовые коэффициенты α , β , γ определяются методом анализа иерархий на основе экспертных оценок. Ограничения представлены в формуле:

$$\begin{cases} \alpha + \beta + \gamma = 1 \\ \alpha, \beta, \gamma \geq 0 \end{cases}.$$

F , L , Q должны быть нормализованы к единой шкале для корректного сравнения. Для оценки альтернативных стратегий предложена система критериев эффективности, представленная в табл. 1.

Таблица 1

Критерии эффективности стратегий проектирования

Показатели	Критерии	Компоненты оценки
Финансовые затраты (F)	Капитальные затраты	Стоимость оборудования и программного обеспечения. Затраты на инфраструктуру. Расходы на внедрение
	Операционные расходы	Затраты на эксплуатацию. Стоимость обслуживания. Расходы на техническую поддержку
Временные затраты (L)	Сроки развертывания	Время проектирования. Длительность внедрения. Период тестирования
	Время реакции	Скорость обработки событий. Время отклика системы. Оперативность реагирования

Показатели	Критерии	Компоненты оценки
Качественные показатели (Q)	Функциональность	Полнота реализации требований. Масштабируемость. Интеграция с системами
	Надежность	Отказоустойчивость. Резервирование компонентов. Восстановление после сбоев

Модель оценки эффективности основывается на системном подходе к анализу множества взаимосвязанных факторов [5, 6]. Для оценки качественных показателей (функциональность, надежность) используется десятибалльная шкала, построенная на основе метода квалиметрической оценки.

Каждый балл соответствует определенному уровню реализации требований. Распределение представлено в табл. 2. Оценка производится на основе результатов тестирования и экспертного анализа с использованием метода Дельфи для достижения согласованного мнения экспертов.

Таблица 2

Шкалы оценки качественных показателей

Баллы	Функциональность	Надежность
10	Полная реализация всех функциональных требований с дополнительными возможностями	Вероятность безотказной работы $> 0,99$
9	Полная реализация всех функциональных требований	Вероятность безотказной работы $0,97–0,99$
8	Реализация более 90 % функциональных требований	Вероятность безотказной работы $0,94–0,96$
7	Реализация 80–90 % функциональных требований	Вероятность безотказной работы $0,90–0,94$
6 и ниже	Реализация менее 80 % функциональных требований	Вероятность безотказной работы $< 0,90$

Для обеспечения гибкости модели и ее адаптации к изменяющимся условиям реализован механизм динамической корректировки весовых коэффициентов [7, 8], описанный в формуле:

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

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, описанная в формуле:

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

где k – коэффициент чувствительности; $F_{\text{факт}}$ и $F_{\text{план}}$ – фактическое и плановое значения соответствующего показателя. Коэффициент чувствительности k определяется экспертным путем и корректируется в процессе работы системы для обеспечения устойчивости.

Коэффициент чувствительности k определяет степень влияния отклонений фактических показателей от плановых на корректировку весовых коэффициентов. Физический смысл коэффициента k заключается в масштабировании реакции системы на отклонения: при $k < 1$ система реагирует более плавно, при $k > 1$ реакция усиливается. На практике рекомендуется начинать с $k = 0,5$ и корректировать его значение в процессе

эксплуатации системы на основе анализа устойчивости получаемых решений. Такой подход позволяет найти баланс между чувствительностью системы к изменениям и стабильностью ее работы.

Оптимальная стратегия проектирования определяется из условия минимизации интегрального показателя при соблюдении ресурсных ограничений:

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

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

Разработанная модель позволяет решать следующие практические задачи:

- комплексная оценка альтернативных стратегий проектирования;
- учет взаимного влияния различных факторов на эффективность стратегии;
- адаптация к изменениям условий проектной среды;
- обоснование выбора оптимальной стратегии проектирования.

Рассмотрим применение модели для проектирования автоматизированной системы мониторинга пожарной безопасности (АСМПБ). При проектировании систем безопасности особое внимание уделяется механизмам принятия решений в критических ситуациях [9]. На основе анализа существующих технологий и экспертных оценок специалистов сформированы три альтернативные стратегии проектирования: централизованная система на базе единого программно-аппаратного комплекса (S_1), децентрализованная система с распределенной архитектурой (S_2) и гибридная система с комбинированными протоколами управления (S_3).

Оптимизация проектных решений требует учета множества факторов и ограничений [10]. На основании нормативных требований и технического задания установлены ограничения проекта, представленные в табл. 3.

Таблица 3

Ограничения проекта АСМПБ

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

На основе экспертных оценок и технико-экономического анализа определены значения входных параметров для каждой стратегии в соответствии с критериями из табл. 1. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

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

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

Оптимальной определена стратегия S_2 , 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.

Стратегия S_3 обеспечивает оптимальный баланс между затратами, временными характеристиками и качеством системы.

Модель обеспечивает оценку альтернативных стратегий с учетом финансовых, временных и качественных параметров. Проблема оптимизации выбора стратегии проектирования актуальна для проектных организаций, выполняющих разработки для МЧС России, где критически важны повышенная надежность систем, строгое соответствие нормативным требованиям и эффективное использование ресурсов.

Заключение

Разработанная модель оценки эффективности обеспечивает комплексный подход к выбору оптимальных стратегий проектирования. Современные системы поддержки принятия решений должны обеспечивать комплексный анализ и оценку альтернатив [11]. Применение модели в проектных организациях позволяет повысить обоснованность принимаемых решений, оптимизировать использование ресурсов и сократить сроки реализации проектов. Модель эффективна для организаций с повышенными требованиями к надежности проектируемых систем, включая проектные организации, выполняющие разработки для МЧС России, где необходим строгий учет нормативных требований и обеспечение безопасности разрабатываемых решений.

Список источников

1. Фасхутдинова М.С., Ларионова Н.Б., Лаврентьева И.А. Принятие стратегических управленческих решений в период цифровой экономики // Научное обозрение: теория и практика. 2020. Т. 10. № 7. С. 1362–1374.
2. Kumar S., Singh D., Kumar P. A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions // Decision Making Advances. 2023. Vol. 1. № 1. С. 25–48.
3. Zhang L., Wei F., Yang M. Adaptive project strategy selection model based on dynamic environmental factors // Journal of Systems Engineering and Electronics. 2023. Vol. 34. № 3. С. 642–651.
4. Борzych Н.Ю. Модель оценки эффективности многокритериального выбора стратегии проектирования проектов в организационных системах // Современные тенденции и практические решения в науке: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. М.: Междунар. центр «Новые научные исследования», 2024. С. 12–19.
5. Omar M.F., Nawi M.N., Nursal A. Decision Support Framework: A Review Study of Building Information Modelling (BIM) Software Selection in Construction Project Management // Advances in Environmental Biology. 2014. Vol. 8. С. 54–57.
6. Zwikael O., Meredith J. Evaluating the Success of a Project and the Performance of Its Leaders // IEEE Transactions on Engineering Management. 2019. Vol. 67. № 5. С. 1090–1102.
7. Борzych Н.Ю. Алгоритмизация выбора стратегии проектирования на основе построения компромиссных решений // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 4. С. 85–90.

8. 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. С. 72–75.

9. Поддержка принятия решений по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на основе нечеткого метода структурирования информации / Е.М. Герасименко [и др.] // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2023. № 2. С. 201–212.

10. Lu W., Chen K., Xue F., Pan W. Searching for an optimal level of prefabrication in construction: An analytical framework // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 201. С. 236–245.

11. Маслобоев А.В., Цыгичко В.Н. Оценка эффективности систем поддержки принятия решений ситуационных центров. Часть 1. Анализ информационной структуры управления // Информационные системы и технологии. 2020. № 5. С. 68–76.

References

1. Faskhutdinova M.S., Larionova N.B., Lavrent'eva I.A. Prinyatie strategicheskikh upravlencheskikh reshenij v period cifrovoj ehkonomiki // Nauchnoe obozrenie: teoriya i praktika. 2020. T. 10. № 7. S. 1362–1374.

2. Kumar S., Singh D., Kumar P. A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions // Decision Making Advances. 2023. Vol. 1. № 1. S. 25–48.

3. Zhang L., Wei F., Yang M. Adaptive project strategy selection model based on dynamic environmental factors // Journal of Systems Engineering and Electronics. 2023. Vol. 34. № 3. S. 642–651.

4. Borzykh N.Yu. Model' ocenki ehffektivnosti mnogokriterial'nogo vybora strategii proektirovaniya proektov v organizacionnykh sistemakh // Sovremennye tendencii i prakticheskie resheniya v nauke: sb. statej Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M.: Mezhdunar. centr «Novye nauchnye issledovaniYA», 2024. S. 12–19.

5. Omar M.F., Nawi M.N., Nursal A. Decision Support Framework: A Review Study of Building Information Modelling (BIM) Software Selection in Construction Project Management // Advances in Environmental Biology. 2014. Vol. 8. S. 54–57.

6. Zwikael O., Meredith J. Evaluating the Success of a Project and the Performance of Its Leaders // IEEE Transactions on Engineering Management. 2019. Vol. 67. № 5. S. 1090–1102.

7. Borzykh N.Yu. Algoritmizatsiya vybora strategii proektirovaniya na osnove postroeniya kompromissnykh reshenij // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2023. № 4. S. 85–90.

8. Kalach A.V., Smolenceva T.E., Borzykh N.Yu. K voprosu vybora kriteriev pri proektirovanii korporativnykh informacionnykh sistem // Vestnik Voronezhskogo Instituta FSIN Rossii. 2022. № 4. S. 72–75.

9. Podderzhka prinyatiya reshenij po preduprezhdeniyu i likvidacii posledstvij chrezvychajnykh situacij na osnove nechetkogo metoda strukturirovaniya informacii / E.M. Gerasimenko [i dr.] // Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2023. № 2. S. 201–212.

10. Lu W., Chen K., Xue F., Pan W. Searching for an optimal level of prefabrication in construction: An analytical framework // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 201. S. 236–245.

11. Masloboev A.V., Cygichko V.N. Ocenka ehffektivnosti sistem podderzhki prinyatiya reshenij situacionnykh centrov. Chast' 1. Analiz informacionnoj struktury upravleniya // Informacionnye sistemy i tekhnologii. 2020. № 5. S. 68–76.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 03.12.2024; одобрена после рецензирования: 20.12.2024;
принята к публикации: 23.12.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 03.12.2024; approved after review: 20.12.2024;
accepted for publication: 23.12.2024

Информация об авторах:

Борzych Никита Юрьевич, аспирант кафедры практической и прикладной информатики Института информационных технологий Российского технологического университета – МИРЭА (119454, Москва, пр. Вернадского, д. 78), e-mail: borzyh@mirea.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0663-4958>, SPIN-код: 9640-5426

Information about the authors:

Borzykh Nikita Yu., postgraduate student department of practical and applied informatics Institute of information technologies, MIREA – Russian technological university (119454, Moscow, Vernadsky ave., 78), e-mail: borzyh@mirea.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0663-4958>, SPIN: 9640-5426