DOI: https://doi.org/10.15688/re.volsu.2026.3.11

UDC 005.311.6:519.816:004
LBC 65.291.217

Submitted: 06.05.2026
Accepted: 13.06.2026

MULTI-CRITERIA SELECTION OF DIGITAL INFRASTRUCTURE ARCHITECTURE IN PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP PROJECTS: RECONCILING STAKEHOLDER PRIORITIES

Maksim Yu. Pshenitsyn

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The study substantiates a multi-criteria analysis toolkit for selecting digital infrastructure architecture in public-private partnership projects while reconciling divergent stakeholder priorities. Such decisions rest on conflicting criteria in incomparable units: total cost of ownership, flexibility, information security, and risk. Intuitive choices therefore remain opaque and resist audit under shared responsibility. The research combines three methods. The analytic hierarchy process derives criteria weights from pairwise comparisons of stakeholder judgements and verifies their consistency; the technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) ranks alternatives by relative closeness. Multi-attribute utility theory captures stakeholder risk aversion. A conditional example comparing on-premises, cloud, and hybrid architectures yields weights of 0.32 for information security, 0.28 for cost of ownership, 0.22 for flexibility, and 0.18 for risk. The consistency ratio is 0.06, below the acceptance threshold. Closeness coefficients reach 0.719 for the hybrid architecture, 0.527 for the cloud, and 0.301 for on-premises. Sensitivity analysis confirms the hybrid lead across security weights from 0.22 to 0.45; the cloud architecture prevails only below a critical weight near 0.2. Where parties disagree, individual priorities rather than judgements should be aggregated: divergence reflects legitimate interests, not expert error. A fuzzy extension of the ranking method covers qualitative criteria. Criteria weights and the switching point thus become observable quantities rather than the outcome of implicit bargaining.

Key words: multi-criteria analysis, ranking stability analysis, digital infrastructure architecture, cloud and hybrid solutions, public-private partnership, stakeholders.

Citation. Pshenitsyn M.Yu., 2026. Multi-Criteria Selection of Digital Infrastructure Architecture in Public-Private Partnership Projects: Reconciling Stakeholder Priorities. *Regionalnaya ekonomika. Yug Rossii* [Regional Economy. South of Russia], vol. 14, no. 3, pp. 122-128. (in Russian). DOI: https://doi.org/10.15688/re.volsu.2026.3.11

УДК 005.311.6:519.816:004
ББК 65.291.217

Дата поступления статьи: 06.05.2026
Дата принятия статьи: 13.06.2026

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР АРХИТЕКТУРЫ ЦИФРОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ПРОЕКТАХ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА: СОГЛАСОВАНИЕ ПРИОРИТЕТОВ СТЕЙКХОЛДЕРОВ

Максим Юрьевич Пшеницын

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Цель исследования – обосновать инструментарий многокритериального анализа для выбора архитектуры цифровой инфраструктуры в проектах государственно-частного партнерства с согласованием несовпадающих приоритетов стейкхолдеров. Архитектурное решение оценивается по разнородным и конфликтующим

© Пшеницын М.Ю., 2026

критериям: совокупной стоимости владения, гибкости, информационной безопасности и риску, выраженным в несопоставимых единицах. При множественности заинтересованных сторон интуитивный выбор непрозрачен и не поддается аудиту. Методология объединяет три метода: метод анализа иерархий определяет веса критериев по попарным сравнениям суждений сторон с контролем отношения согласованности; метод упорядочения по сходству с идеальным решением (TOPSIS) ранжирует альтернативы по показателю относительной близости; теория многомерной полезности отражает несклонность стейкхолдеров к риску. На условном примере выбора между локальной, облачной и гибридной архитектурами получены веса критериев: 0,32 – для информационной безопасности; 0,28 – для совокупной стоимости владения; 0,22 – для гибкости; 0,18 – для риска. Отношение согласованности составило 0,06, не превышая порогового значения. Ранжирование дало показатели близости 0,719 у гибридной архитектуры, 0,527 у облачной и 0,301 у локальной. Лидерство гибридного решения сохраняется при весе безопасности от 0,22 до 0,45; облачная архитектура выходит вперед лишь при весе ниже критического значения около 0,2. Для проектов партнерства обосновано агрегирование индивидуальных приоритетов, а не суждений: расхождение весов у сторон отражает законно различный интерес, а не ошибку эксперта. Для критериев качественной природы предусмотрено нечеткое расширение метода ранжирования. Веса критериев и точка смены лидера становятся наблюдаемыми величинами, а торг приоритетами сторон – явным.

Ключевые слова: многокритериальный анализ, анализ устойчивости ранжирования, архитектура цифровой инфраструктуры, облачные и гибридные решения, государственно-частное партнерство, стейкхолдеры.

Цитирование. Пшеницын М. Ю., 2026. Многокритериальный выбор архитектуры цифровой инфраструктуры в проектах государственно-частного партнерства: согласование приоритетов стейкхолдеров // Региональная экономика. Юг России. Т. 14, № 3. С. 122–128. DOI: https://doi.org/10.15688/re.volsu.2026.3.11

Введение

Реализация проектов государственно-частного и муниципально-частного партнерства в сфере информационных технологий предполагает выбор архитектуры развертывания цифровой инфраструктуры [Барандова, Мокин, 2025; Юрьева, 2024]. Локальная, облачная, гибридная и периферийная архитектуры по-разному распределяют стоимость владения, операционную гибкость, уровень информационной безопасности и профиль рисков проекта: выигрышная по одному критерию уступает по другим. Показатели измеряются в несопоставимых единицах – рублях затрат, стоимости опционов, баллах защищенности, ожидаемых потерях. Интуитивный выбор здесь непрозрачен и не поддается аудиту. Множественность стейкхолдеров усугубляет задачу: решение, оптимальное с позиции одной стороны, редко оптимально с позиции остальных.

Задача решается средствами многокритериального анализа [Triantaphyllou, 2000; Zavadskas, Turskis, 2011]. Метод анализа иерархий, определяющий веса критериев через попарные сравнения, разработан Т. Саати [Саати, 1993]. Ч. Хванг и К. Юн предложили ранжировать альтернативы методом упорядочения по сходству с идеальным решением (TOPSIS) [Hwang, Yoon, 1981]; опыт его применения обобщен в обзорах [Behzadian et al., 2012]. Отношение к риску описывает теория многомерной полезности [Keeney, Raiffa, 1993], нечеткость качественных оценок – нечеткие расширения этих методов [Chen, 2000]. Применительно к выбору архитектуры цифровой инфраструктуры недостаточно проработанными остаются согласование несовпадающих приоритетов стейкхолдеров и проверка устойчивости ранжирования. Это и составляет научную задачу статьи.

Цель статьи – обосновать инструментарий многокритериального анализа для выбора архитектуры цифровой инфраструктуры в проектах партнерства с согласованием приоритетов стейкхолдеров и продемонстрировать его на примере выбора между локальной, облачной и гибридной архитектурами. Значения критериев поставляются предшествующими этапами оценки и в иллюстративном примере приняты условными.

Многокритериальная природа выбора архитектуры и комбинация методов

Формальный анализ нужен потому, что партнерство есть взаимодействие сторон с несовпадающими интересами; его правовая основа – законодательство о государственно-частном и муниципально-частном партнерстве [Федеральный закон № 224-ФЗ ... , 2015]. Частный партнер считает доходность при приемлемом уровне риска, публичный – бюджетную нагрузку, и уже на этих двух шкалах решения расходятся; требования кредиторов к надежности возврата средств и пользователей к доступности услуг добавляют еще два несводимых измерения [Варнавский и др., 2010; Йескомб, 2015]. Многокритериальный анализ этот конфликт не устраняет. Он переводит неявный торг приоритетами в процедуру взве-

шивания критериев, воспроизводимую по документированному протоколу попарных сравнений.

На самих альтернативах конфликт критериев виден отчетливо: облачное решение выигрывает в гибкости, но уступает в контролируемости безопасности; локальное дает максимальный контроль ценой высокой стоимости владения; гибридное балансирует эти свойства. Разнородные критерии требуется привести к сопоставимому виду и агрегировать со взвешиванием. Свести их к общему денежному знаменателю не удается: перевод баллов защищенности в рубли потребовал бы допущений более сильных, чем те, что вносит взвешивание. Веса критериев определяет метод анализа иерархий [Саати, 1993]: попарные сравнения структурируют суждения стейкхолдеров и допускают проверку согласованности. Ранжирование по взвешенным критериям выполняет TOPSIS [Hwang, Yoon, 1981]. Для предварительного отбора двух этих методов достаточно. Когда значения критериев существенно неопределенны, окончательное решение опирается еще и на теорию многомерной полезности [Keeney, Raiffa, 1993].

Определение весов критериев методом анализа иерархий

В основе процедуры лежат попарные сравнения: представитель стейкхолдера высказывает суждение об относительной важности каждой пары критериев по девятибалльной шкале [Саати, 1993]. Такое сравнение когнитивно проще целостной оценки и допускает проверку согласованности. Веса извлекаются как компоненты главного собственного вектора матрицы попарных сравнений. Согласованность контролируется отношением:

$$CR = CI / RI, \quad (1)$$

где индекс согласованности $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$; λ_{max} – максимальное собственное число матрицы попарных сравнений; n – число критериев; RI – случайный индекс, зависящий от размерности матрицы. Превышение порога 0,1 указывает на противоречивость суждений, в частности на нарушение транзитивности предпочтений, и требует их пересмотра.

Расчет выполнен для трех перечисленных архитектур цифровой платформы по четырем критериям. Гибкость измеряется стоимостью встроенных опционов, риск – ожидаемыми потерями в хвосте распределения; оценка риска опирается на формализованную матрицу рисков проекта [Самохвалов, 2024]. По результатам попарных сравнений с участием представителей публичного и частного партнеров получены веса, приведенные в таблице 1. Отношение согласованности для четырехкритериальной матрицы примера составило 0,06, что ниже порога и свидетельствует о непротиворечивости суждений.

Наибольший вес получила информационная безопасность: платформа обрабатывает данные граждан. В отличие от волюнтаристского взвешивания, это значение выведено из структурированных суждений и проверено на согласованность. Устойчивость ранжирования проверяется ниже по этому весу: он сильнее прочих влияет на порядок альтернатив, а согласовать его сторонам труднее всего.

Ранжирование альтернатив методом упорядочения по сходству с идеальным решением

Ранжирование опирается на полученные веса [Hwang, Yoon, 1981]. Наилучшей признается альтернатива, одновременно наиболее близкая к идеальному решению, наилучшему по всем критериям, и наиболее удаленная от антиидеального. Расчет воспроизводим и не вводит допущений сверх заданных весов [Behzadian et al., 2012]. После нормализации матрицы значений критериев и ее взвешивания полученными весами евклидовы расстояния каждой альтернативы до идеального и антиидеального решений сводят-

Таблица 1

Веса критериев выбора архитектуры, полученные методом анализа иерархий

Критерий	Вес	Направление оптимума
Совокупная стоимость владения	0,28	Минимум
Гибкость (стоимость опционов)	0,22	Максимум
Информационная безопасность	0,32	Максимум
Риск (ожидаемые потери в хвосте)	0,18	Минимум

Примечание. Составлено автором.

ся в показатель относительной близости альтернативы *i*:

$$C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-), \quad (2)$$

где D_i^+ – расстояние альтернативы до идеального решения; D_i^- – расстояние до антиидеального.

Показатель близости принимает значения от нуля до единицы. Состав идеального и антиидеального решений задают направления оптимума из таблицы 1: для критериев-выгод берется наибольшее значение критерия, для критериев-затрат – наименьшее. Нормализация снимает влияние различий в единицах измерения, взвешивание вводит в расчет согласованные приоритеты сторон. Результаты расчета для трех архитектур сведены в таблицу 2.

Гибридная архитектура занимает первое место, поскольку сочетает приемлемую стоимость владения с высокой гибкостью и контролем над безопасностью критичных данных. Облачная уступает по критерию с наибольшим весом – информационной безопасности; выигрыш в гибкости этого не компенсирует. Локальная дает максимальный контроль над данными, но низкая гибкость и высокая стоимость владения делают ее в ранжировании неконкурентоспособной. Ранг лидера не определяется ни одним отдельным критерием: он получен взвешенным учетом всех четырех с согласованными приоритетами сторон.

Учет отношения к риску, групповая агрегация приоритетов и устойчивость ранжирования

Оба метода оперируют детерминированными значениями критериев и предполагают нейтральность лица, принимающего решение, к риску. Стейкхолдеры цифровых проектов к риску не склонны. Их предпочтения формализует теория многомерной полезности [Keeney, Raiffa, 1993]: по каждому критерию строится функция полезности, преобразующая его значение в безразмерную полезность с учетом отношения к риску, а частные полезности агрегируются по аддитивному правилу:

$$U(a) = \sum w_k \cdot u_k(x_k), \quad (3)$$

где $U(a)$ – многомерная полезность альтернативы a; w_k – вес k-го критерия; $u_k(x_k)$ – частная функция полезности по k-му критерию от его значения x_k; веса метода анализа иерархий выступают масштабирующими коэффициентами при предпочтительной независимости критериев.

Вогнутость u_k отражает несклонность к риску: крупные потери оцениваются тяжелее равного им по математическому ожиданию выигрыша. Такой учет становится содержательным при асимметрии распределений критериев, когда ранжирование по математическому ожиданию вводит в заблуждение.

Когда приоритеты стейкхолдеров не совпадают, встает задача групповой агрегации весов. Агрегирование индивидуальных суждений усредняет попарные сравнения средним геометрическим и рассчитано на равноправных экспертов. В партнерстве стороны не являются равноправными экспертами, а расхождение их весов отражает не шум, а законно различный интерес, поэтому агрегировать следует индивидуальные приоритеты: векторы весов складываются с коэффициентами значимости участников. Сами коэффициенты подлежат согласованию и отражают распределение переговорной силы и ответственности. Согласовывать их следует до расчета, а не подбирать под желаемый результат. Качество агрегирования не компенсирует ошибок в частных показателях, поэтому ранжирование служит обоснованной рекомендацией и входом для структурирования соглашения, а не предписанным выбором.

Поскольку веса определены с погрешностью, ранжирование проверяется на устойчивость: варьируется вес информационной безопасности, и выявляются критические значения, при которых альтернативы меняются местами (см. табл. 3).

Таблица 2

Ранжирование архитектурных альтернатив методом упорядочения по сходству с идеальным решением

Альтернатива	Расстояние до идеала D^+	Расстояние до антиидеала D^-	Показатель близости C	Ранг
Локальная	0,142	0,061	0,301	3
Облачная	0,098	0,109	0,527	2
Гибридная	0,054	0,138	0,719	1

Примечание. Составлено автором.

Таблица 3

Устойчивость ранжирования к весу критерия информационной безопасности

Вес безопасности	Лидер ранжирования	Показатель близости лидера *C*
0,15	Облачная	0,58
0,22	Гибридная	0,66
0,32 (базовый)	Гибридная	0,72
0,45	Гибридная	0,78

Примечание. Составлено автором.

Гибридное решение удерживает первое место при весе безопасности от 0,22 до 0,45. Лидер меняется на облачную архитектуру лишь при весе ниже критического значения около 0,2 (в таблице – 0,15). Для проектов с государственным участием такой вес маловероятен, а значит, рекомендация перестает быть точечным результатом и становится робастным выводом. Качественные критерии, заданные лишь словесными (лингвистическими) оценками, учитываются нечетким расширением TOPSIS с дефаззификацией итогового показателя близости [Chen, 2000].

Заключение

В статье обоснован инструментарий многокритериального анализа для выбора архитектуры цифровой инфраструктуры в проектах государственно-частного партнерства. На условном примере предпочтение получила гибридная архитектура: она уступает облачной в гибкости, а локальной – в полноте контроля над данными, но выигрывает по совокупности взвешенных критериев при умеренной стоимости владения. Анализ устойчивости подтвердил робастность вывода в реалистичном диапазоне весов.

Научная новизна состоит в адаптации комбинации трех методов многокритериального анализа к задаче архитектурного выбора в проекте партнерства: приоритеты стейкхолдеров здесь согласуются явно, результат проверяется на устойчивость к весам, а значения критериев поставляются предшествующими этапами оценки. Практическая значимость полученных результатов состоит в переводе выбора архитектуры из области интуитивных суждений в прозрачную и проверяемую процедуру, легитимную перед всеми заинтересованными сторонами. Нерешенными остаются две задачи: согласование коэффициентов значимости участников при групповой агрегации приоритетов и перенос нечеткого расширения метода на критерии качественной природы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Барандова Т. Л., Мокин И. В., 2025. Государственно-частное партнерство как механизм развития цифровой инфраструктуры российских регионов: кросс-региональное исследование // PolitBook. № 3. С. 180–195. DOI: 10.24412/2227-1538-2025-3-180-195

Варнавский В. Г., Клименко А. В., Баженов А. В., Воротников А. М., Королев В. А., 2010. Государственно-частное партнерство: теория и практика. М. : Изд. дом Гос. ун-та – Высш. шк. экономики. 288 с.

Йескомб Э. Р., 2015. Государственно-частное партнерство: основные принципы финансирования : пер. с англ. М. : Альпина Паблишер. 457 с.

Саати Т., 1993. Принятие решений. Метод анализа иерархий : пер. с англ. М. : Радио и связь. 278 с.

Самохвалов И. О., 2024. Принципы разработки матрицы рисков крупных инфраструктурных проектов с государственным участием // Экономика и управление: проблемы, решения. Т. 6, № 1 (142). С. 133–143. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2024.01.06.016

Федеральный закон № 224-ФЗ от 13.07.2015 «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», 2015. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

Юрьева Т. В., 2024. Устойчивые инфраструктурные проекты на основе технологий государственно-частного партнерства // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1, Экономика и управление. № 1. С. 77–84. DOI: 10.21777/2587-554X-2024-1-77-84

Behzadian M., Otaghsara S. K., Yazdani M., Ignatius J., 2012. A State-of-the-Art Survey of TOPSIS Applications // Expert Systems with Applications. Vol. 39, № 17. P. 13051–13069.

Chen C.-T., 2000. Extensions of the TOPSIS for Group Decision-Making Under Fuzzy Environment // Fuzzy Sets and Systems. Vol. 114, № 1. P. 1–9.

Hwang C. L., Yoon K., 1981. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Berlin : Springer-Verlag. 269 p.

Keeney R. L., Raiffa H., 1993. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. Cambridge : Cambridge University Press. 569 p.

Triantaphyllou E., 2000. Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers. 320 p.

Zavadskas E. K., Turskis Z., 2011. Multiple Criteria Decision Making (MCDM) Methods in Economics: An Overview // Technological and Economic Development of Economy. Vol. 17, № 2. P. 397–427. DOI: 10.3846/20294913.2011.593291

REFERENCES

Barandova T.L., Mokin I.V., 2025. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo kak mekhanizm razvitiya tsifrovoy infrastruktury rossiyskikh regionov: kross-regionalnoe issledovanie [Public-Private Partnership as a Mechanism for the Development of Digital Infrastructure of Russian Regions: A Cross-Regional Study]. *PolitBook,* no. 3, pp. 180-195. DOI: 10.24412/2227-1538-2025-3-180-195

Varnavskiy V.G., Klimenko A.V., Bazhenov A.V., Vorotnikov A.M., Korolev V.A., 2010. *Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo: teoriya i praktika* [Public-Private Partnership: Theory and Practice]. Moscow, Izd. dom Gos. un-ta – Vyssh. shk. ekonomiki. 288 p.

Yescombe E.R., 2015. *Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo: osnovnye printsipy finansirovaniya* [Public-Private Partnerships: Principles of Policy and Finance]. Moscow, Alpina Pablisher Publ. 457 p.

Saaty T., 1993. *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy* [Decision Making. The Analytic Hierarchy Process]. Moscow, Radio i svyaz Publ. 278 p.

Samokhvalov I.O., 2024. Printsipy razrabotki matritsy riskov krupnykh infrastrukturnykh proektov s gosudarstvennym uchastiem [The Concept of Developing a Risk Matrix for Large Infrastructure Projects with State Participation]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya* [Economics and Management: Problems, Solutions], vol. 6, no. 1 (142), pp. 133-143. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2024.01.06.016

Federalnyj zakon № 224-FZ ot 13.07.2015 «O gosudarstvenno-chastnom partnerstve, munitsipalno-chastnom partnerstve v Rossiyskoy Federatsii i vnesenii izmeneniy v otdelnye zakonodatelnye akty Rossiyskoy Federatsii» [On Public-Private Partnership, Municipal-Private Partnership in the Russian Federation and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation: Federal Law of 13 July 2015 No. 224-FZ], 2015. *Access from the Legal Reference System "KonsultantPlyus".*

Yuryeva T.V., 2024. Ustoychivye infrastrukturnye proekty na osnove tekhnologiy gosudarstvenno-chastnogo partnerstva [Sustainable Infrastructure Projects Based on Public-Private Partnership Technologies]. *Vestnik Moskovskogo universiteta imeni S.Yu. Vitte. Seriya 1. Ekonomika i upravlenie* [Economics and Management], no. 1, pp. 77-84. DOI: 10.21777/2587-554X-2024-1-77-84

Behzadian M., Otaghsara S. K., Yazdani M., Ignatius J., 2012. A State-of-the-Art Survey of TOPSIS Applications. *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 17, pp. 13051-13069.

Chen C.-T., 2000. Extensions of the TOPSIS for Group Decision-Making Under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 114, no. 1, pp. 1-9.

Hwang C.L., Yoon K., 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Berlin, Springer-Verlag. 269 p.

Keeney R.L., Raiffa H., 1993. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge, Cambridge University Press. 569 p.

Triantaphyllou E., 2000. *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Dordrecht, Kluwer Academic. 320 p.

Zavadskas E.K., Turskis Z., 2011. Multiple Criteria Decision Making (MCDM) Methods in Economics: An Overview. *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 17, no. 2, pp. 397-427. DOI: 10.3846/20294913.2011.593291

Information About the Author

Maksim Yu. Pshenitsyn, Candidate for a Degree, Department of Economic Theory, Regional Economics and Entrepreneurship, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, it@maxi-group34.ru, https://orcid.org/0009-0003-5598-7770

Информация об авторе

Максим Юрьевич Пшеницын, соискатель кафедры экономической теории, региональной экономики и предпринимательства, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, it@maxi-group34.ru, https://orcid.org/0009-0003-5598-7770