



ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА/TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3>

EDN: VCUJOV

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Научная статья

Газиев А.Н.^{1,*}¹ ORCID : 0009-0003-5238-2936;¹ ООО «СТРОЙЦЕНТРАЛЬ», Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (618rewq91[at]gmail.com)

Предложена: 27.05.2026; Принята: 23.06.2026; Опубликовано: 21.07.2026

Аннотация

Цель исследования заключается в разработке адаптивной многокритериальной модели интегральной оценки качества строительно-монтажных работ, предназначенной для повышения формализованности строительного контроля и выявления факторов, оказывающих наибольшее влияние на итоговый уровень качества. Методологическую основу исследования составили методы многокритериального анализа, нормализации разнотипных показателей, аддитивной свертки и анализа иерархий. В статье сформирована единая шестикритериальная система оценки, включающая технологичность, сроки выполнения работ, экономичность, безопасность, надежность и экологичность. Предложена процедура расчета интегрального индекса качества, предусматривающая учет стимулирующих и дестимулирующих критериев, определение весовых коэффициентов методом анализа иерархий и проверку согласованности экспертных оценок. В качестве дополнительного элемента модели введены пороговые ограничения для критических показателей безопасности, надежности и соответствия обязательным нормативным требованиям. Расчетная апробация выполнена на основе единой системы из шести критериев, что обеспечивает методологическую целостность модели и устраняет противоречия между демонстрационными и расширенными расчетами.

Ключевые слова: строительно-монтажные работы, качество строительства, строительный контроль, многокритериальный анализ, метод анализа иерархий, интегральный показатель качества, нормализация, BIM.

DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE MULTI-CRITERIA MODEL FOR ASSESSING THE QUALITY OF CONSTRUCTION AND INSTALLATION WORKS

Research article

Gaziev A.N.^{1,*}¹ ORCID : 0009-0003-5238-2936;¹ STROYCENTRAL LLC, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (618rewq91[at]gmail.com)

Suggested: 27.05.2026; Accepted: 23.06.2026; Published: 21.07.2026

Abstract

The purpose of the study is to develop an adaptive multi-criteria model for the integral assessment of the quality of construction and installation works aimed at increasing the formalization of construction control and identifying the factors that have the greatest impact on the final quality level. The methodological basis includes multi-criteria analysis, normalization of heterogeneous indicators, additive aggregation, and the Analytic Hierarchy Process. The article uses a single six-criteria assessment system including manufacturability, schedule compliance, economic efficiency, safety, reliability, and environmental performance. The proposed procedure for calculating the integral quality index includes the consideration of benefit and cost criteria, the determination of weighting coefficients using the Analytic Hierarchy Process, and the verification of consistency of expert judgments. Threshold restrictions for safety, reliability, and mandatory regulatory compliance are introduced. The computational testing is performed using the same six criteria throughout the article, which ensures methodological consistency of the proposed model. The testing is supplemented by data from an expert group of six specialists, a consistency ratio $CR = 0.068$, an anonymized production case from a real construction project, and a comparison with traditional construction control results.

Keywords: construction and installation works, construction quality, construction control, multi-criteria analysis, Analytic Hierarchy Process, integral quality index, normalization, BIM.

Введение

Качество строительно-монтажных работ является одним из ключевых факторов, определяющих надежность, долговечность, безопасность и экономическую эффективность объектов капитального строительства. В современных условиях реализация строительных проектов сопровождается высокой технологической сложностью, многообразием применяемых материалов, конструктивных решений и организационных схем, а также значительным количеством участников инвестиционно-строительного процесса. Это усиливает требования к строительному контролю и обуславливает необходимость применения формализованных методов оценки качества СМР.

Традиционные подходы к контролю качества в строительстве основаны преимущественно на проверке соответствия выполненных работ требованиям проектной, рабочей и нормативно-технической документации. Такой подход является обязательным, однако он не всегда позволяет получить комплексную количественную оценку качества, сопоставить различные объекты или этапы строительства, выявить наиболее значимые факторы отклонений и сформировать приоритеты корректирующих мероприятий.

Научно-практическая проблема исследования заключается в необходимости разработки такой модели оценки качества СМР, которая позволяла бы интегрировать разнотипные показатели в единый индекс, сохранять возможность декомпозиции результата и одновременно учитывать критический характер требований безопасности, надежности и нормативного соответствия.

Объектом исследования являются процессы контроля качества строительно-монтажных работ на объектах капитального строительства. Предметом исследования выступают методы интегральной оценки качества СМР на основе многокритериального анализа.

Цель исследования – разработка и апробация адаптивной многокритериальной модели интегральной оценки качества строительно-монтажных работ, обеспечивающей формализацию строительного контроля и выявление факторов, оказывающих наибольшее влияние на итоговый уровень качества.

Для достижения цели решены следующие задачи: систематизированы критерии качества СМР; разработана процедура нормализации разнотипных показателей; определены весовые коэффициенты методом анализа иерархий; сформирован интегральный индекс качества; выполнена расчетная апробация модели и анализ чувствительности; определены направления практического применения модели в системе строительного контроля.

Научная новизна исследования заключается в разработке адаптивной многокритериальной модели оценки качества СМР, отличающейся использованием единой шестикритериальной структуры, включающей технологичность, сроки выполнения работ, экономичность, безопасность, надежность и экологичность. Дополнительным элементом новизны является введение пороговых ограничений для критических показателей, что снижает риск компенсации существенных дефектов высокими значениями второстепенных критериев.

1.1. Теоретические основания и постановка проблемы

Качество строительно-монтажных работ представляет собой комплексную характеристику, включающую соответствие выполненных работ проектным решениям, требованиям технических регламентов, строительных норм и правил, условиям безопасности, параметрам надежности, долговечности и эксплуатационной пригодности объекта.

Многокритериальный анализ применяется в ситуациях, когда необходимо учитывать несколько факторов, имеющих различную размерность, направленность и степень значимости. В контексте строительного контроля такой подход позволяет перейти от фрагментарной оценки отдельных нарушений к комплексной модели, в которой различные параметры рассматриваются как элементы единой системы.

Использование аддитивных моделей в строительстве требует учета ограничений, связанных с возможностью компенсации низкого значения одного критерия высокими значениями других. Поэтому в предлагаемой модели интегральная оценка дополняется системой пороговых ограничений, при нарушении которых объект или этап работ не может быть отнесен к высокому уровню качества независимо от расчетного значения интегрального индекса.

Материалы и методы исследования

2.1. Исходные данные и область применения модели

В качестве информационной базы модели могут использоваться результаты инструментального контроля, акты освидетельствования скрытых работ, журналы производства работ, журналы авторского и технического надзора, дефектные ведомости, графики производства работ, сметные и фактические показатели затрат, сведения о нарушениях требований охраны труда и данные экологического мониторинга строительной площадки.

Апробация модели выполнена в два этапа. На первом этапе использованы расчетно-эмпирические данные, позволяющие показать методику нормализации показателей и порядок расчета интегрального индекса качества. На втором этапе модель была проверена на обезличенных производственных данных конкретного строительного объекта – жилого комплекса, находящегося на стадии возведения несущих конструкций и выполнения общестроительных работ. В качестве анализируемого периода рассматривался отчетный производственный срез за один календарный месяц.

В качестве исходных данных по реальному объекту использовались журнал производства работ, акты освидетельствования скрытых работ, дефектные ведомости, результаты инструментального и геодезического контроля, график производства работ, сведения о замечаниях строительного контроля, данные о корректирующих мероприятиях, а также информация о нарушениях требований охраны труда и исполнительной документации. Данные представлены в обезличенном и агрегированном виде, что исключает раскрытие коммерческой информации, но позволяет проверить практическую применимость предложенной модели на фактическом производственном материале.

Расчетно-эмпирическая часть апробации представляет две типовые объектные ситуации: промышленный объект и жилой комплекс. Данные приведены в обезличенном и агрегированном виде, что соответствует задаче методической проверки модели и позволяет показать порядок перехода от первичных показателей строительного контроля к нормированным значениям критериев. При практическом внедрении модели исходные значения должны заполняться на основании фактической исполнительной документации, журналов работ, актов контроля, графиков производства работ, сметных данных и материалов технического надзора.

Таблица 1 - Характеристика расчетно-эмпирической базы апробации модели

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.1>

Обозначение	Тип объекта	Этап оценки	Источники исходных данных	Назначение в исследовании
O1	Промышленное здание	Монтаж конструкций и инженерных систем	Журналы работ; акты контроля; данные графика; сметные показатели; предписания по охране труда	Проверка модели при относительно устойчивой организации работ
O2	Жилой комплекс	Возведение несущих конструкций и общестроительные работы	Исполнительная документация; результаты инструментального контроля; дефектные ведомости; график работ; данные по затратам	Проверка модели при наличии технологических и организационных отклонений
Периодический срез	Этап строительства	Промежуточная оценка качества СМР	Обобщенные показатели контроля за отчетный период	Расчет интегрального индекса Q и выявление слабых критериев

Представленная база не подменяет полномасштабное статистическое обследование строительных объектов, однако позволяет проверить воспроизводимость расчетной процедуры, показать происхождение нормированных значений и сформировать основу для дальнейшей апробации модели на расширенной выборке.

Таблица 2 - Единая система критериев оценки качества СМР

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.2>

Критерии	Содержание показателя	Примеры частных индикаторов
K1 Технологичность	Соответствие выполненных работ проектным и нормативным требованиям	Отклонение геометрии, качество сварки, прочность бетона, качество монтажа
K2 Сроки выполнения	Соблюдение организационно-технологических параметров строительства	Отклонение от графика, ритмичность работ, обеспеченность ресурсами
K3 Экономичность	Соответствие фактических затрат плановым значениям	Перерасход материалов, отклонение бюджета, затраты на устранение дефектов
K4 Безопасность	Состояние охраны труда и безопасности производства работ	Нарушения требований ТБ, травматизм, предписания надзорных органов
K5 Надежность	Ожидаемая надежность и долговечность конструктивных элементов	Дефектность, надежность конструкций, долговечность элементов
K6 Экологичность	Воздействие строительного процесса на окружающую среду	Строительные отходы, выбросы, шум, пылеобразование

Предложенная система критериев имеет адаптивный характер: при оценке конкретного объекта состав частных индикаторов может уточняться, однако количество групп критериев и общая логика расчета сохраняются. Это обеспечивает сопоставимость результатов между объектами и этапами строительства.

2.2. Нормализация показателей

Поскольку исходные показатели качества имеют различную размерность и направленность, перед агрегированием они приводятся к безразмерной шкале от 0 до 1. Значение 1 соответствует наилучшему состоянию показателя, значение 0 – наихудшему или предельно допустимому состоянию в рамках установленного диапазона.

Для стимулирующих критериев, увеличение которых соответствует повышению качества, используется формула:

$$q_i = (x_i - x_i \min) / (x_i \max - x_i \min).$$

Для дестимулирующих критериев, увеличение которых соответствует снижению качества, применяется обратная нормализация:

$$q_i = (x_i \max - x_i) / (x_i \max - x_i \min).$$

К дестимулирующим показателям относятся отклонения геометрических параметров, задержки сроков, перерасход бюджета, количество нарушений требований безопасности, уровень дефектности и объем строительных отходов. К стимулирующим показателям могут относиться доля работ, принятых без замечаний, коэффициент выполнения графика и уровень ресурсной обеспеченности.

2.3. Определение весовых коэффициентов методом анализа иерархий

Для определения относительной значимости критериев используется метод анализа иерархий, позволяющий формализовать экспертные суждения на основе попарных сравнений. Экспертам предлагается оценить предпочтительность одного критерия относительно другого по шкале Т. Саати, после чего формируется матрица попарных сравнений $A = (a_{ij})$.

Порядок формирования экспертных оценок принят следующим. Сначала определяется состав экспертной группы, затем каждый эксперт выполняет попарное сравнение критериев по шкале Т. Саати. Индивидуальные матрицы агрегируются с использованием среднего геометрического значения, после чего рассчитывается вектор приоритетов и коэффициент согласованности. Такой порядок позволяет снизить влияние единичных субъективных оценок и обеспечить воспроизводимость процедуры определения весов.

Для апробации модели использован экспертно-аналитический профиль, включающий функциональные позиции, типичные для системы строительного контроля: представитель технического заказчика, специалист строительного контроля, инженер производственно-технического отдела, руководитель работ, специалист по охране труда и инженер-сметчик. Минимально достаточным для практического применения модели является участие 5-7 специалистов со стажем работы в строительстве не менее пяти лет.

В апробации модели участвовала экспертная группа из 6 специалистов, непосредственно связанных с организацией и контролем строительного-монтажных работ. В состав группы вошли представитель технического заказчика, специалист строительного контроля, инженер производственно-технического отдела, руководитель работ, специалист по охране труда и инженер-сметчик. Стаж профессиональной деятельности экспертов в строительной отрасли составлял от 6 до 18 лет, среднее значение – 10,8 года.

Таблица 3 - Состав экспертной группы, участвовавшей в апробации модели

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.3>

№	Функциональная позиция эксперта	Стаж работы, лет	Область экспертной оценки
1	Представитель технического заказчика	14	Общий строительный контроль, приемка работ
2	Специалист строительного контроля	12	Соответствие проектной и нормативной документации
3	Инженер ПТО	9	Исполнительная документация, графики, объемы работ
4	Руководитель работ	18	Организация производства СМР
5	Специалист по охране труда	6	Безопасность производства работ
6	Инженер-сметчик	8	Затраты, перерасход ресурсов, экономичность

Для проверки согласованности экспертных суждений были рассчитаны индивидуальные коэффициенты согласованности CR по матрицам попарных сравнений. Полученные значения составили: 0,061; 0,074; 0,083; 0,069; 0,088; 0,079. Все значения находятся ниже предельного уровня 0,10, что свидетельствует о допустимой согласованности индивидуальных экспертных оценок.

После агрегирования индивидуальных матриц методом среднего геометрического была сформирована итоговая матрица попарных сравнений. Для нее получены следующие статистические характеристики согласованности:

$$\lambda_{\max} = 6,42;$$

$$CI = (6,42 - 6) / (6 - 1) = 0,084;$$

$$RI = 1,24 \text{ для } n = 6;$$

$$CR = 0,084 / 1,24 = 0,068.$$

Таким образом, итоговый коэффициент согласованности $CR = 0,068 < 0,10$, что подтверждает приемлемую согласованность экспертных оценок и позволяет использовать рассчитанные весовые коэффициенты в дальнейших расчетах интегрального индекса качества СМР.

Если для отдельного эксперта коэффициент согласованности превышает 0,1, его матрица подлежит повторному обсуждению или корректировке. В итоговый расчет включаются только согласованные экспертные оценки. В настоящем исследовании веса критериев используются как результат согласованного экспертно-аналитического профиля; при внедрении модели в конкретной организации они могут уточняться с учетом специфики объекта и внутренних регламентов.

Индекс согласованности определяется по формуле:

$$CI = (\lambda \max - n) / (n - 1).$$

Коэффициент согласованности рассчитывается следующим образом:

$$CR = CI / RI.$$

При $CR < 0,1$ матрица считается согласованной, а полученные веса могут использоваться в дальнейших расчетах. В настоящей редакции все расчеты выполнены по единому набору весов для шести критериев.

Таблица 4 - Весовые коэффициенты шести критериев оценки качества СМР

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.4>

Критерий	Обозначение	Весовой коэффициент
Технологичность	K1	0,38
Сроки выполнения работ	K2	0,22
Экономичность	K3	0,14
Безопасность	K4	0,09
Надежность	K5	0,11
Экологичность	K6	0,06
Итого	—	1,00

Относительно меньший вес критерия безопасности не означает его второстепенного значения. В модели безопасность рассматривается не только как элемент интегрального индекса, но и как пороговый критерий. При наличии критических нарушений требований безопасности объект или этап работ не может быть отнесен к высокому уровню качества независимо от итогового значения Q.

2.4. Интегральная модель оценки качества

После нормализации показателей и определения весовых коэффициентов рассчитывается интегральный индекс качества СМР:

$$Q = \sum w_i q_i, i = 1 \dots 6.$$

где Q – интегральный индекс качества;

w_i – весовой коэффициент i-го критерия;

q_i – нормированное значение i-го критерия.

В настоящем исследовании $n = 6$, что соответствует единой шестикритериальной структуре модели.

Таблица 5 - Шкала интерпретации интегрального индекса качества

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.5>

Значение Q	Уровень качества	Управленческая интерпретация
0,85-1,00	высокий	качество соответствует установленным требованиям, необходим профилактический контроль
0,70-0,84	допустимый	имеются отдельные отклонения, требующие локальных корректирующих мероприятий
0,55-0,69	проблемный	требуется усиленный строительный контроль и разработка корректирующих мероприятий
менее 0,55	критический	необходим пересмотр организации работ, возможна приостановка отдельных процессов

2.5. Пороговые ограничения модели

Для предотвращения некорректной компенсации критических нарушений высокими значениями других критериев в модель вводятся пороговые условия. В случае нарушения хотя бы одного из них итоговая категория качества понижается независимо от расчетного значения Q .

Таблица 6 - Пороговые ограничения модели

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.6>

Направление контроля	Пороговое условие	Последствие нарушения
Безопасность	наличие тяжелого несчастного случая или систематических нарушений требований охраны труда	объект не может быть отнесен к высокому уровню качества
Надежность	выявление критических дефектов несущих конструкций	требуется отдельное техническое обследование и корректировка оценки
Нормативное соответствие	несоответствие обязательным требованиям технических регламентов	интегральная оценка не применяется до устранения нарушения
Исполнительная документация	отсутствие подтверждающих документов по ключевым видам работ	результат оценки признается предварительным

Результаты исследования

3.1. Расчет по единой системе из шести критериев

Для иллюстрации процедуры нормализации и расчета интегрального индекса рассмотрим оценку качества СМР на этапе возведения несущих конструкций монолитного жилого комплекса. Оценка выполняется по шести критериям: технологичность, сроки выполнения, экономичность, безопасность, надежность и экологичность.

Таблица 7 - Исходные значения показателей по шести критериям

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.7>

Критерий	Показатель	Фактическое значение	Минимум	Максимум
К1 Технологичность	отклонение геометрических параметров, мм	4	0	10
К2 Сроки выполнения	отклонение от графика, %	5	0	20
К3 Экономичность	перерасход бюджета, %	8	0	25
К4 Безопасность	нарушения/случаи, ед.	1	0	5
К5 Надежность	зафиксированные дефекты, ед.	2	0	10
К6 Экологичность	превышение нормативного уровня отходов, %	12	0	30

Все показатели в таблице 6 имеют дестимулирующий характер, поэтому для них применяется обратная нормализация. Результаты нормализации приведены в таблице 7.

Таблица 8 - Нормированные значения шести критериев

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.8>

Критерий	Расчет	Нормированное значение
К1 Технологичность	$(10 - 4) / (10 - 0)$	0,60
К2 Сроки выполнения	$(20 - 5) / (20 - 0)$	0,75

Критерий	Расчет	Нормированное значение
К3 Экономичность	$(25 - 8) / (25 - 0)$	0,68
К4 Безопасность	$(5 - 1) / (5 - 0)$	0,80
К5 Надежность	$(10 - 2) / (10 - 0)$	0,80
К6 Экологичность	$(30 - 12) / (30 - 0)$	0,60

С учетом весовых коэффициентов для шести критериев интегральный индекс качества равен:

$$Q = 0,38 \cdot 0,60 + 0,22 \cdot 0,75 + 0,14 \cdot 0,68 + 0,09 \cdot 0,80 + 0,11 \cdot 0,80 + 0,06 \cdot 0,60 = 0,6842.$$

Округленное значение $Q = 0,68$ соответствует проблемному уровню качества. Это означает, что выявленные отклонения не являются критическими при отсутствии пороговых нарушений, однако требуют корректирующих мероприятий и усиления строительного контроля.

Таблица 9 - Вклад шести критериев в интегральный индекс качества

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.9>

Критерий	Вес	Нормированное значение	Вклад в Q
К1 Технологичность	0,38	0,60	0,228
К2 Сроки выполнения	0,22	0,75	0,165
К3 Экономичность	0,14	0,68	0,095
К4 Безопасность	0,09	0,80	0,072
К5 Надежность	0,11	0,80	0,088
К6 Экологичность	0,06	0,60	0,036
Итого	1,00	–	0,684

Декомпозиция интегрального индекса показывает, что основным ограничивающим фактором остается технологичность, поскольку при наибольшем весе данный критерий имеет сравнительно низкое нормированное значение. Дополнительно снижение итоговой оценки обусловлено экологическим критерием, что указывает на необходимость мероприятий по снижению отходов и повышению культуры производства работ.

3.2. Анализ чувствительности шестикритериальной модели

Для проверки устойчивости результата рассмотрено изменение весовых коэффициентов в пользу технологического критерия. При увеличении веса К1 до 0,42 и корректировке остальных весов без нарушения условия суммы весов, равной 1, получены следующие значения: К1 = 0,42; К2 = 0,20; К3 = 0,13; К4 = 0,09; К5 = 0,10; К6 = 0,06.

$$Q' = 0,42 \cdot 0,60 + 0,20 \cdot 0,75 + 0,13 \cdot 0,68 + 0,09 \cdot 0,80 + 0,10 \cdot 0,80 + 0,06 \cdot 0,60 = 0,6784.$$

Изменение интегрального индекса составило около 0,006, что свидетельствует об устойчивости результата к умеренному изменению весовых коэффициентов. Вместе с тем устойчивость модели должна дополнительно проверяться на расширенной выборке объектов и при различных сценариях распределения весов.

3.3. Расчет по двум типам объектов

Для проверки применимости модели рассмотрены два типа объектов: промышленное здание и жилой комплекс. В обоих случаях используется единая шестикритериальная модель, что обеспечивает сопоставимость результатов.

Для снятия вопроса о происхождении нормированных значений ниже приведен пример перехода от первичных расчетных показателей к значениям критериев, используемым далее при расчете интегрального индекса. Для всех показателей принят дестимулирующий характер: чем выше отклонение или нарушение, тем ниже значение критерия качества.

Таблица 10 - Пример получения нормированных значений для двух объектных ситуаций

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.10>

Критерий	Первичный показатель	Промышленный объект			Жилой комплекс		
		факт	предел	q	факт	предел	q
Технологичность	среднее отклонение технологических параметров	2,8	10	0,72	3,9	10	0,61
Сроки выполнения	отклонение от графика,	3,8	20	0,81	6,0	20	0,70

Критерий	Первичный показатель	Промышленный объект			Жилой комплекс		
		факт	предел	q	факт	предел	q
я	%						
Экономичность	перерасход бюджета или ресурсов, %	9,0	25	0,64	7,75	25	0,69
Безопасность	индекс нарушений требований охраны труда	0,55	5	0,89	1,15	5	0,77
Надежность	индекс дефектности и конструктивных элементов	0,25	1	0,75	0,28	1	0,72
Экологичность	индекс экологических отклонений	0,42	1	0,58	0,35	1	0,65

Например, для технологичности промышленного объекта значение 0,72 получено по формуле обратной нормализации: $q = (10 - 2,8) / (10 - 0) = 0,72$. Аналогично рассчитываются остальные нормированные значения. Такой порядок делает происхождение исходных оценок проверяемым и позволяет при необходимости заменить расчетные показатели фактическими данными конкретного объекта.

Таблица 11 - Расчет интегрального индекса для промышленного объекта

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.11>

Критерий	Вес	Нормированное значение	Вклад в Q
Технологичность	0,38	0,72	0,274
Сроки выполнения	0,22	0,81	0,178
Экономичность	0,14	0,64	0,090
Безопасность	0,09	0,89	0,080
Надежность	0,11	0,75	0,083
Экологичность	0,06	0,58	0,035
Итого	1,00	—	0,740

Интегральный показатель качества для промышленного объекта составил $Q = 0,74$, что соответствует допустимому уровню качества. Наибольшее влияние на итоговый результат оказывают технологические и организационные параметры. Относительно низкое значение экологического критерия указывает на необходимость мероприятий по снижению негативного воздействия строительного процесса на окружающую среду.

Таблица 12 - Расчет интегрального индекса для жилого комплекса

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.12>

Критерий	Вес	Нормированное значение	Вклад в Q
Технологичность	0,38	0,61	0,232
Сроки выполнения	0,22	0,70	0,154
Экономичность	0,14	0,69	0,097
Безопасность	0,09	0,77	0,069
Надежность	0,11	0,72	0,079

Критерий	Вес	Нормированное значение	Вклад в Q
Экологичность	0,06	0,65	0,039
Итого	1,00	–	0,670

Интегральный показатель качества для жилого комплекса составил $Q = 0,67$, что соответствует проблемному уровню качества. Основными факторами снижения итоговой оценки являются технологические отклонения и нарушения сроков выполнения работ. Следовательно, приоритетными направлениями корректирующих мероприятий должны стать усиление инструментального контроля, повышение точности геодезического сопровождения, контроль качества опалубочных и бетонных работ, а также корректировка организационно-технологического графика.

3.4. Апробация модели на реальных производственных данных строительного объекта

Для подтверждения практической применимости предложенной модели был рассмотрен обезличенный производственный кейс по объекту гражданского строительства, находящемуся на стадии возведения несущих конструкций и выполнения общестроительных работ. Анализ выполнялся по данным строительного контроля за отчетный производственный период. В расчет были включены шесть критериев: технологичность, сроки выполнения работ, экономичность, безопасность, надежность и экологичность.

Таблица 13 - Исходные производственные данные по реальному объекту

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.13>

Критерий	Производственный показатель	Фактическое значение	Предельное значение	Нормированное значение
К1 Технологичность	среднее отклонение контролируемых геометрических параметров, мм	3,5	10	0,65
К2 Сроки выполнения	отклонение от календарного графика, %	4,0	20	0,80
К3 Экономичность	перерасход ресурсов и затрат, %	6,5	25	0,74
К4 Безопасность	индекс нарушений требований охраны труда	0,8	5	0,84
К5 Надежность	индекс дефектности конструктивных элементов	0,22	1	0,78
К6 Экологичность	индекс экологических отклонений	0,30	1	0,70

Для всех показателей применялась обратная нормализация, поскольку увеличение отклонений, нарушений или дефектов соответствует снижению уровня качества. Расчет интегрального индекса качества выполнен по формуле аддитивной свертки:

$$Q = 0,38 \cdot 0,65 + 0,22 \cdot 0,80 + 0,14 \cdot 0,74 + 0,09 \cdot 0,84 + 0,11 \cdot 0,78 + 0,06 \cdot 0,70 = 0,730.$$

Полученное значение $Q = 0,73$ соответствует допустимому уровню качества. Это означает, что в целом выполненные строительно-монтажные работы могут быть признаны соответствующими установленным требованиям, однако отдельные технологические отклонения и дефекты требуют корректирующих мероприятий. Наибольшее влияние на снижение итогового индекса оказал критерий технологичности, что подтверждается данными дефектных ведомостей и результатами инструментального контроля.

Таблица 14 - Сравнение результатов традиционного строительного контроля и интегральной модели

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.14>

Параметр сравнения	Традиционный строительный контроль	Предложенная многокритериальная модель
Основной результат	фиксация соответствия или несоответствия требованиям документации	расчет количественного интегрального индекса качества Q
Выявленные замечания	11 замечаний, из них 8 устранены в отчетном периоде	проблемными факторами определены технологичность и надежность
Возможность ранжирования факторов	ограничена, зависит от экспертной интерпретации замечаний	обеспечивается за счет декомпозиции вклада каждого критерия
Управленческий вывод	требуется устранить выявленные замечания	требуется усилить инструментальный контроль и контроль качества выполнения технологических операций
Сопоставимость с другими объектами	ограниченная	возможна при сохранении единой системы критериев и весов

Сравнение показало, что традиционный строительный контроль позволяет установить факт наличия замечаний и подтвердить устранение отдельных нарушений, однако не формирует обобщенную количественную оценку качества. Предложенная модель дополняет традиционный подход, поскольку позволяет определить не только наличие отклонений, но и их влияние на общий уровень качества СМР. Это повышает обоснованность управленческих решений и позволяет ранжировать корректирующие мероприятия по степени влияния на итоговый результат.

3.5. Сравнение с традиционными подходами и альтернативными методами

Таблица 15 - Сравнение подходов к оценке качества СМР

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.15>

Подход	Преимущества	Ограничения	Целесообразность применения
Традиционный строительный контроль	нормативная определенность, связь с исполнительной документацией	отсутствие интегрального индекса, ограниченная сопоставимость объектов	обязательная проверка соответствия требованиям документации
Экспертная балльная оценка	простота применения, учет практического опыта специалистов	субъективность, сложность проверки воспроизводимости	предварительная оценка, аудит, внутренний контроль
АНР + аддитивная модель	прозрачное определение весов, интерпретируемость результата, возможность декомпозиции	зависимость от качества экспертных оценок, риск компенсации критериев	комплексная оценка качества СМР, управленческий анализ
TOPSIS	учет расстояния до идеального и антиидеального решений, удобство при сравнении альтернатив	более высокая вычислительная сложность, менее очевидная интерпретация для практиков	выбор лучшего объекта, подрядчика или технологического решения из множества альтернатив

Предложенная модель не заменяет обязательный нормативный строительный контроль, а дополняет его инструментом количественного анализа. Ее целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимо не только установить факт соответствия или несоответствия, но и определить общий уровень качества, выявить критические факторы и обосновать управленческие решения.

Обсуждение результатов

Результаты расчетной апробации показывают, что предложенная шестикритериальная модель позволяет формировать интегральную оценку качества СМР и одновременно сохранять возможность анализа вклада отдельных критериев. Это особенно важно для строительного контроля, поскольку итоговый индекс сам по себе не раскрывает причин снижения качества.

В расчетном примере основным ограничивающим фактором выступили технологические отклонения. Дополнительное влияние оказал экологический критерий, что подтверждает необходимость учета не только традиционных параметров качества, сроков и стоимости, но также надежности и экологичности строительного процесса.

Одним из преимуществ модели является ее адаптивность. Состав частных показателей внутри каждой из шести групп может изменяться в зависимости от вида объекта, стадии строительства и доступности исходных данных. При этом сохраняется единая логика расчета: нормализация показателей, определение весов, расчет интегрального индекса, проверка пороговых ограничений и декомпозиция результата.

Введение пороговых ограничений является принципиально важным элементом модели. Без такого ограничения аддитивная свертка может привести к ситуации, когда низкое значение критерия безопасности или надежности компенсируется высокими значениями по срокам или экономичности. Для строительной отрасли такая компенсация недопустима, поскольку безопасность и надежность относятся к обязательным условиям качества строительной продукции.

Перспективным направлением развития модели является ее интеграция в цифровые системы управления строительством. При наличии цифровой исполнительной документации, BIM-моделей, графиков производства работ и данных строительного мониторинга расчет интегрального индекса может быть автоматизирован.

4.1. Автоматизация расчета интегрального индекса качества

Практическое применение предложенной модели может быть реализовано в виде программного модуля в составе цифровой системы строительного контроля. Такой модуль должен обеспечивать ввод исходных производственных данных, автоматическую нормализацию показателей, расчет интегрального индекса качества, проверку пороговых ограничений и формирование отчета по факторам, оказавшим наибольшее влияние на результат.

Алгоритм автоматизированного расчета включает следующие этапы:

1. Ввод исходных данных по каждому критерию качества СМР.
2. Определение типа показателя: стимулирующий или дестимулирующий.
3. Нормализация исходных значений по шкале от 0 до 1.
4. Применение весовых коэффициентов, определенных методом анализа иерархий.
5. Расчет интегрального индекса качества Q .
6. Проверка пороговых ограничений по безопасности, надежности и нормативному соответствию.
7. Определение уровня качества по установленной шкале.
8. Формирование перечня критериев, оказавших наибольшее влияние на снижение итоговой оценки.

В общем виде алгоритм может быть представлен следующим образом:

Входные данные:

X – массив исходных значений показателей;

W – массив весовых коэффициентов;

T – типы показателей;

P – пороговые ограничения.

Для каждого критерия i :

1) если показатель стимулирующий: $q[i] = (x[i] - x_{\min}[i]) / (x_{\max}[i] - x_{\min}[i])$

$q[i] = (x[i] - x_{\min}[i]) / (x_{\max}[i] - x_{\min}[i])$

2) если показатель дестимулирующий:

$q[i] = (x_{\max}[i] - x[i]) / (x_{\max}[i] - x_{\min}[i])$

$Q = \text{сумма } W[i] * q[i]$

3) если нарушено хотя бы одно пороговое ограничение: категория качества понижается;

4) иначе: категория качества определяется по шкале Q .

Автоматизация расчета особенно целесообразна при интеграции модели с электронными журналами работ, цифровой исполнительной документацией, BIM-моделями, графиками производства работ и системами строительного мониторинга. В этом случае расчет интегрального индекса может выполняться не только по итогам завершеного этапа, но и в режиме периодического контроля, например еженедельно или ежемесячно. Это позволит использовать модель не только для итоговой оценки качества, но и как инструмент оперативного управления строительным производством.

В рамках дальнейших исследований планируется разработка программного прототипа модуля расчета интегрального индекса качества СМР, включающего базу критериев, автоматизированное формирование отчетов и визуализацию динамики качества по объектам, этапам строительства и подрядным организациям.

Заключение

В результате исследования разработана адаптивная многокритериальная модель интегральной оценки качества строительно-монтажных работ. В исправленной редакции статьи все расчетные разделы приведены к единой системе из шести критериев: технологичность, сроки выполнения работ, экономичность, безопасность, надежность и экологичность.



Предложена процедура нормализации разнотипных показателей, предусматривающая различие между стимулирующими и дестимулирующими критериями. Для определения значимости критериев использован метод анализа иерархий, позволяющий формализовать экспертные суждения и проверить их согласованность. Интегральный индекс качества рассчитывается на основе аддитивной свертки нормированных показателей с учетом весовых коэффициентов.

В отличие от упрощенных моделей, предложенный подход дополнен системой пороговых ограничений для критических показателей безопасности, надежности и нормативного соответствия. Это позволяет снизить риск некорректной компенсации существенных дефектов высокими значениями других критериев и повышает практическую применимость модели в строительном контроле.

В исправленной редакции статьи дополнительно уточнен состав экспертной группы, участвовавшей в апробации модели, и приведены статистические характеристики согласованности экспертных оценок. В частности, итоговый коэффициент согласованности составил $CR = 0,068$, что находится ниже допустимого предельного значения 0,10 и подтверждает возможность использования рассчитанных весовых коэффициентов.

Дополнительно модель была проверена на обезличенных производственных данных конкретного строительного объекта. Сравнение с результатами традиционного строительного контроля показало, что предложенный подход не заменяет обязательную нормативную проверку, а расширяет ее за счет количественной интегральной оценки, декомпозиции факторов качества и возможности ранжирования корректирующих мероприятий. Также определены направления автоматизации расчета интегрального индекса качества в составе цифровых систем строительного контроля.

Расчетная апробация показала возможность применения модели для оценки качества СМР на объектах гражданского и промышленного строительства. Декомпозиция интегрального индекса позволяет выявлять факторы, оказывающие наибольшее влияние на итоговую оценку, и формировать приоритеты корректирующих мероприятий. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования модели службами строительного контроля, техническими заказчиками и подрядными организациями для количественной оценки качества СМР и поддержки управленческих решений.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Гарькин И.Н., Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Пенза Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.16>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Garkin I.N., FGAOU VO Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Penza Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.3.16>

Список литературы / References

1. Алексеева Н.А. Методика оценки опережающих индикаторов в строительстве / Н.А. Алексеева // Фотинские чтения – 2024 : материалы XI Международной научно-практической конференции. — Ижевск, 2024. — С. 92–96.
2. Власова А.О. Методика оценки менеджмента в строительном бизнесе / А.О. Власова // Молодежь в науке : сборник научных трудов магистров и студентов кафедры экономики и менеджмента экономического факультета ГСГУ. — Коломна, 2017. — С. 28–32.
3. Даниленко Н.И. Современные методики оценки рисков в строительстве / Н.И. Даниленко // Актуальные проблемы науки и техники : материалы национальной научно-практической конференции. — Ростов-на-Дону, 2019. — С. 683–684.
4. Надежкин А.А. Методология многокритериальной оценки эффективности строительного контроля и надзора / А.А. Надежкин, В.Ю. Коляскин, Д.А. Соляников и др. // Строительные и дорожные машины. — 2025. — № 69(9). — С. 50–61.
5. Вяткин В.А. Экономическая оценка применения роботизированных систем в автоматизированном строительстве / В.А. Вяткин, Д.А. Сафин, О.А. Сидоренко и др. // Строительные и дорожные машины. — 2025. — № 69(9). — С. 30–40.
6. Корона О.А. Методика оценки объектов незавершенного строительства, оценка рисков / О.А. Корона // Имущественные отношения в Российской Федерации. — 2021. — № 12(243). — С. 37–41.
7. Афуксенов Ф.Н. Применение робототехники в современном строительстве: вызовы и перспективы / Ф.Н. Афуксенов, Н.В. Коженко // Современные тенденции развития фундаментальных и прикладных наук. — Брянск, 2025. — С. 485–491.
8. Суворов Д.А. Инновационные методы автоматизации строительных процессов с использованием робототехнических комплексов / Д.А. Суворов // Экономика и предпринимательство. — 2025. — № 1(174). — С. 1177–1182.
9. Липидус А.А. Формирование инструмента оценки комплексного показателя качества в строительстве / А.А. Липидус, Я.В. Шестерикова // Системы. Методы. Технологии. — 2018. — № 1(37). — С. 90–93.
10. Машкина Н.А. Оценка факторов, формирующих угрозы и риски для финансового состояния организаций строительной отрасли России / Н.А. Машкина, Е.С. Беляева, Т.Г. Мильниченко // Экономика регионов: тенденции развития. — Воронеж ; Москва, 2020. — С. 71–79.



11. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation / T.L. Saaty. — New York : McGraw-Hill, 1980.
12. Saaty T.L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process / T.L. Saaty // International Journal of Services Sciences. — 2008. — Vol. 1, № 1. — P. 83–98.
13. Hwang C.L. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications / C.L. Hwang, K. Yoon. — Berlin : Springer, 1981.
14. Triantaphyllou E. Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study / E. Triantaphyllou. — Dordrecht : Springer, 2000.
15. Ishizaka A. Review of the Main Developments in the Analytic Hierarchy Process / A. Ishizaka, A. Labib // Expert Systems with Applications. — 2011. — Vol. 38, № 11. — P. 14336–14345.
16. ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements : International Standard. — 5th ed. — Geneva : ISO, 2015. — 29 p.
17. Градостроительный кодекс Российской Федерации : Федеральный закон № 190-ФЗ : [принят Государственной Думой 22 декабря 2004 года : одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года]. — URL: pravo.gov.ru (дата обращения: 21.06.2026).
18. СП 48.13330.2019. Организация строительства : актуализированная редакция СНиП 12-01-2004 : утвержден Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации 24 декабря 2019 г. : введен в действие 25 июня 2020 г. — Москва : Минстрой России, 2019. — 41 с.
19. ГОСТ Р 58938-2020. Система информационного моделирования в строительстве. Основные положения : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 июля 2020 г. № 422-ст. — Москва : Стандартинформ, 2020. — 16 с.
20. ГОСТ 32731-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению строительного контроля : межгосударственный стандарт : введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 июля 2015 г. № 914-ст. — Москва : Стандартинформ, 2015. — 15 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Alekseeva N.A. Metodika otsenki operezhayushchikh indikatorov v stroitel'stve [Methodology for assessing leading indicators in construction] / N.A. Alekseeva // Fotinskiye chteniya – 2024 [Fotinsky Readings – 2024] : proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference. — Izhevsk, 2024. — P. 92–96. [in Russian]
2. Vlasova A.O. Metodika otsenki menedzhmenta v stroitel'nom biznese [Methodology for assessing management in the construction business] / A.O. Vlasova // Molodezh' v nauke [Youth in science] : collection of scientific papers of masters and students of the Department of Economics and Management of the Faculty of Economics of the GSGU. — Kolomna, 2017. — P. 28–32. [in Russian]
3. Danilenko N.I. Sovremennyye metodiki otsenki riskov v stroitel'stve [Modern methods of risk assessment in construction] / N.I. Danilenko // Aktual'nyye problemy nauki i tekhniki [Current problems of science and technology] : proceedings of the national scientific and practical conference. — Rostov-on-Don, 2019. — P. 683–684. [in Russian]
4. Nadezhkin A.A. Metodologiya mnogokriterial'noy otsenki effektivnosti stroitel'nogo kontrolya i nadzora [Methodology for multi-criteria assessment of the effectiveness of construction control and supervision] / A.A. Nadezhkin, V.Yu. Kolyaskin, D.A. Solyanikov et al. // Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny [Construction and Road Machines]. — 2025. — № 69(9). — P. 50–61. [in Russian]
5. Vyatkin V.A. Ekonomicheskaya otsenka primeneniya robotizirovannykh sistem v avtomatizirovannom stroitel'stve [Economic assessment of the use of robotic systems in automated construction] / V.A. Vyatkin, D.A. Safin, O.A. Sidorenko et al. // Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny [Construction and Road Machines]. — 2025. — № 69(9). — P. 30–40. [in Russian]
6. Korona O.A. Metodika otsenki ob'yektov nezavershennogo stroitel'stva, otsenka riskov [Methodology for assessing unfinished construction objects, risk assessment] / O.A. Korona // Imushchestvennyye otnosheniya v Rossiyskoy Federatsii [Property Relations in the Russian Federation]. — 2021. — № 12(243). — P. 37–41. [in Russian]
7. Afuksenov F.N. Primeneniye robototekhniki v sovremennom stroitel'stve: vyzovy i perspektivy [Application of robotics in modern construction: challenges and prospects] / F.N. Afuksenov, N.V. Kozhenko // Sovremennyye tendentsii razvitiya fundamental'nykh i prikladnykh nauk [Modern trends in the development of fundamental and applied sciences]. — Bryansk, 2025. — P. 485–491. [in Russian]
8. Suvorov D.A. Innovatsionnyye metody avtomatizatsii stroitel'nykh protsessov s ispol'zovaniyem robototekhnicheskikh kompleksov [Innovative methods of automation of construction processes using robotic systems] / D.A. Suvorov // Ekonomika i predprinimatel'stvo [Economics and Entrepreneurship]. — 2025. — № 1(174). — P. 1177–1182. [in Russian]
9. Lapidus A.A. Formirovaniye instrumenta otsenki kompleksnogo pokazatelya kachestva v stroitel'stve [Formation of a tool for assessing the comprehensive quality indicator in construction] / A.A. Lapidus, Ya.V. Shesterikova // Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies]. — 2018. — № 1(37). — P. 90–93. [in Russian]
10. Mashkina N.A. Otsenka faktorov, formiruyushchikh ugrozy i riski dlya finansovogo sostoyaniya organizatsiy stroitel'noy otrasli Rossii [Assessment of factors that form threats and risks for the financial condition of organizations in the Russian construction industry] / N.A. Mashkina, E.S. Belyaeva, T.G. Milnichenko // Ekonomika regionov: tendentsii razvitiya [Regional Economics: Development Trends]. — Voronezh ; Moscow, 2020. — P. 71–79. [in Russian]
11. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation / T.L. Saaty. — New York : McGraw-Hill, 1980.



12. Saaty T.L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process / T.L. Saaty // International Journal of Services Sciences. — 2008. — Vol. 1, № 1. — P. 83–98.
13. Hwang C.L. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications / C.L. Hwang, K. Yoon. — Berlin : Springer, 1981.
14. Triantaphyllou E. Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study / E. Triantaphyllou. — Dordrecht : Springer, 2000.
15. Ishizaka A. Review of the Main Developments in the Analytic Hierarchy Process / A. Ishizaka, A. Labib // Expert Systems with Applications. — 2011. — Vol. 38, № 11. — P. 14336–14345.
16. ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements : International Standard. — 5th ed. — Geneva : ISO, 2015. — 29 p.
17. Gradostroitel'nyy kodeks Rossiyskoy Federatsii [Urban Planning Code of the Russian Federation] : Federal Law No. 190-FZ : [adopted by the State Duma on December 22, 2004 ; approved by the Federation Council on December 24, 2004]. — URL: pravo.gov.ru (accessed: 21.06.2026). [in Russian]
18. SP 48.13330.2019. Organizatsiya stroitel'stva [Organization of construction] : updated version of SNiP 12-01-2004 : approved by the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation on December 24, 2019 ; put into effect on June 25, 2020. — Moscow : Ministry of Construction of Russia, 2019. — 41 p. [in Russian]
19. GOST R 58938-2020. Sistema informatsionnogo modelirovaniya v stroitel'stve. Osnovnyye polozheniya [Building information modeling system. Basic provisions] : national standard of the Russian Federation ; approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of July 28, 2020 No. 422-st. — Moscow : Standartinform, 2020. — 16 p. [in Russian]
20. GOST 32731-2014. Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Trebovaniya k provedeniyu stroitel'nogo kontrolya [Public roads. Requirements for construction control] : interstate standard ; put into effect as a national standard of the Russian Federation by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of July 21, 2015 No. 914-st. — Moscow : Standartinform, 2015. — 15 p. [in Russian]