

ГУСЕВ ДМИТРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССОВ РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ**

2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация.
Организация производства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Самара – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный технический университет» на кафедре «Теоретическая и общая электротехника».

Научный руководитель:

Панюков Дмитрий Иванович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Теоретическая и общая электротехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет».

Официальные оппоненты:

Извеков Юрий Анатольевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова»;

Газизулина Альбина Юсуповна, кандидат технических наук, доцент Высшей школы проектной деятельности и инноваций в промышленности в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск.

Защита состоится 14 декабря 2026 года в 10:00 на заседании диссертационного совета 24.2.379.05, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева», по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева» и на сайте https://ssau.ru/resources/dis_protection/gusevda.

Автореферат разослан «___»_____ 2026 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.2.379.05,
доктор технических наук, доцент

Я. А. Ерисов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Строительство является одной из ключевых сфер экономики, определяющей развитие промышленности, транспорта, энергетики и социальной инфраструктуры. Для промышленных предприятий процессы строительной деятельности – капитальное строительство, реконструкция, ремонт и техническое перевооружение объектов производственной инфраструктуры – носят обеспечивающий характер: они поддерживают работоспособность зданий, сооружений, инженерных сетей и технологических коммуникаций, от которых напрямую зависит непрерывность основного производства. Однако, несмотря на свою значимость, эти процессы сталкиваются с системными проблемами, связанными с управлением качеством. Фундаментальное отличие строительного производства от серийного промышленного изготовления продукции лежит в технологической плоскости организации работ: каждый объект представляет собой уникальную пространственно-временную систему, что исключает полную унификацию технологических карт и графиков производства работ.

В этих условиях особенно остро проявляются следующие проблемы: отсутствие стандартизированных методик оценки качества процессов на всех этапах жизненного цикла строительного объекта; низкая прозрачность выбора подрядчиков и поставщиков, что напрямую влияет на качество входных ресурсов; недостаточная клиентоориентированность и отсутствие системы количественных показателей результативности; неадаптированность методов риск-менеджмента (в частности, анализа видов и последствий потенциальных отказов – FMEA) к специфике строительных проектов.

Именно эти аспекты образуют предметную область науки управления качеством и определяют необходимость решения перечисленных задач с применением её научного аппарата, методологий и инструментов: процессного и системного подходов, принципов стандартизации, квалиметрии, методов оценки результативности процессов и анализа рисков.

Названные проблемы приводят к снижению качества выполняемых работ, срыву сроков, росту аварийности и дополнительных затрат. Решение указанных проблем требует разработки адаптированных инструментов управления качеством, учитывающих особенности строительной деятельности и позволяющих системно стандартизировать процессы, объективно оценивать их результативность и управлять рисками. Таким образом, тема диссертационного исследования является своевременной и востребованной как в научном, так и в практическом отношении.

Степень разработанности темы. Теоретической базой диссертационного исследования послужили фундаментальные труды зарубежных учёных в области управления качеством – Э. Деминга, Дж. Джурана, К. Исикавы, Ф. Кросби, Г. Тагути, В. Шухарта, Н. Кано. Существенный вклад в развитие отечественной теории и практики управления качеством внесли В. В. Бойцов, А. В. Гличев, В. Я.

Белобрагин, Г. П. Воронин, В. Н. Азаров, Ю. П. Адлер, В. А. Лapidус, В. Л. Шпер, Д. В. Антипов, А. Г. Ивахненко, Б. В. Бойцов, М. А. Полякова, Г. Л. Юнак; в области квалиметрии и многокритериальной оценки – Г. Г. Азгальдов, В. В. Подиновский, В. Д. Ногин, Т. Саати. В области моделирования бизнес-процессов и применения методологии FMEA следует отметить работы Д. И. Панюкова, В. Н. Козловского, Д. В. Айдарова, Д. И. Благовещенского, О. В. Никишова, а также труды В. В. Репина и В. Г. Елиферова по процессному подходу. В области управления качеством, рисками и выбором подрядчиков в строительстве необходимо выделить работы А. А. Лapidуса, Х. М. Гумбы, С. Б. Сборщикова, А. В. Быстрова, В. И. Яковлева, Е. В. Романеевой, а также зарубежные исследования критериев отбора подрядчиков (Z. Hatush, M. Skitmore), многокритериальной оценки в строительстве (E. K. Zavadskas) и применения FMEA к рискам строительных проектов (M. Abdelgawad, A. R. Fayek).

Однако для предприятий, реализующих проекты строительной деятельности в условиях высокой степени неопределённости и уникальности объектов, по-прежнему остаются недостаточно развитыми: многоуровневое процессное моделирование, интегрирующее элементы управления качеством на каждом этапе жизненного цикла проекта; системная количественная оценка рисков на основе методов, адаптированных к специфике строительных технологических и организационных процессов; комплексные показатели, объединяющие технические, временные и риск-ориентированные аспекты оценки результативности процессов; практические механизмы управления качеством, учитывающие специфику единичного производства и малых строительных предприятий.

Следует подчеркнуть, что перечисленные задачи не могут быть решены в рамках смежной специальности 2.1.14 «Управление жизненным циклом объектов строительства»: её предметом является управление объектом капитального строительства и строительными системами на этапах жизненного цикла объекта – от обоснования инвестиций до вывода из эксплуатации – на основе информационного моделирования, проектного управления и технического нормирования, а результативность, качество и риски рассматриваются в ней применительно к объекту строительства и строительной системе в целом, а не к процессам предприятия как элементам системы менеджмента качества. Именно наука управления качеством, располагающая инструментами количественной оценки результативности процессов, управления несоответствиями и анализа рисков организационных и технологических процессов, обеспечивает адекватный ответ на указанные вызовы, что и продиктовало выполнение диссертационного исследования в рамках специальности 2.5.22 «Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства».

Целью диссертационного исследования является повышение результативности и качества процессов реализации строительных проектов на основе совершенствования инструментария управления качеством, включающего процессное моделирование, комплексную оценку и анализ рисков.

Задачи исследования:

1. Провести анализ особенностей строительной деятельности, выявить основные проблемы управления качеством, провести анализ существующих методов и средств моделирования и управления процессами реализации строительных проектов.

2. Разработать многоуровневую процессную модель деятельности организации, охватывающую полный жизненный цикл строительного проекта и интегрирующую элементы управления качеством на каждом этапе, и определить место разработанного методического аппарата в системе менеджмента качества действующих предприятий.

3. Разработать систему показателей для комплексной оценки качества выполнения процессов строительного проекта, включающую показатели качества работ, соблюдения сроков, результативности использования ресурсов и рискоустойчивости, а также систему оценки подрядчиков. Построить математическую модель интегральной оценки результативности процесса реализации строительного проекта.

4. Адаптировать методологию FMEA для процессов строительной деятельности и провести анализ рисков организационного процесса реализации проектов, а также технологических строительных процессов различного типа.

5. Разработать методику повышения результативности процессов реализации строительных проектов для организаций различного масштаба, включая упрощённую версию для малых предприятий, и предложить рекомендации по её внедрению.

6. Провести апробацию предложенных решений на реальных строительных проектах, оценить результативность корректирующих действий.

Область исследования. Область исследования соответствует направлениям исследований паспорта научной специальности 2.5.22 «Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства» в части пунктов:

4. Инновации при разработке, развитии, цифровизации систем менеджмента качества (СМК) предприятий и организаций.

5. Методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством.

9. Разработка и совершенствование научных инструментов оценки, мониторинга и прогнозирования качества продукции и процессов.

22. Разработка методов и средств организации производства в условиях организационно-управленческих, технологических и технических рисков.

Поставленная цель достигается методами управления качеством, стандартизации и организации производства – процессным моделированием, оценкой результативности процессов, анализом со стороны руководства и риск-ориентированным управлением несоответствиями, – а не методами строительного производства, что определяет принадлежность работы к указанной специальности.

Объектом исследования являются процессы строительной деятельности промышленного предприятия (капитальное строительство, реконструкция, ремонт и техническое перевооружение объектов производственной инфраструктуры) на всех этапах их реализации, влияющие на качество выпускаемой продукции предприятия.

Предметом исследования являются методы и модели обеспечения и управления качеством процессов строительной деятельности, включая процессное моделирование, систему показателей, математическую модель комплексной оценки и анализ рисков на основе FMEA.

Методология и методы исследования. Решение поставленных задач базируется на методологии всеобщего управления качеством (TQM), процессном и системном подходах, принципах стандартизации (ГОСТ Р ИСО 9001-2015), методах структурно-функционального анализа, квалитметрии, экспертных оценок, статистических методах, а также методе анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA).

Научная новизна диссертационного исследования состоит в следующем.

1. Обобщённая многоуровневая структурно-функциональная модель процесса реализации проектов строительной деятельности промышленного предприятия в нотации BPMN 2.0, отличающаяся детализацией этапов жизненного цикла, отражением альтернативных путей выполнения работ (собственными силами / с привлечением подрядчика) и встраиванием элементов управления качеством на каждом этапе (п. 4 паспорта специальности).

2. Комплекс показателей и математическая модель интегральной оценки результативности процесса строительной деятельности, отличающиеся сквозным учётом качества работ, соблюдения сроков, результативности использования ресурсов и рискоустойчивости на основе мультипликативной свёртки, а также введением показателя рисконасыщенности процесса и интегрированной системы оценки подрядчиков (п. 5 паспорта специальности).

3. Адаптированная к процессам строительной деятельности промышленных предприятий методика анализа рисков организационного и технологических процессов на основе FMEA с оригинальными критериями значимости последствий (S), вероятности возникновения (O) и вероятности обнаружения (D) и показателем рисконасыщенности процесса, обеспечивающим переход от оценки отдельных причин отказов к сопоставимой между этапами и проектами оценке риска процесса (п. 22 паспорта специальности).

4. Методика повышения результативности процессов строительной деятельности в двухуровневой системе «организационный процесс – технологические процессы», основанная на трёх контурах PDCA и адаптированная для предприятий различного масштаба (п. 9 паспорта специальности).

Теоретическая значимость заключается в развитии методологии управления качеством применительно к процессам строительной деятельности промышленных предприятий, характеризующимся высокой степенью неопределённости и уникальности объектов, в части адаптации известных методов (процессное

моделирование, FMEA, интегральная оценка) к специфике единичного производства.

Практическая значимость заключается в создании прикладных инструментов: многоуровневой процессной модели в нотации BPMN, системы оценки подрядчиков, математической модели интегральной оценки, адаптированной методики FMEA с типовыми чек-листами, методики повышения результативности на основе трёх контуров PDCA и методики оценки экономического эффекта от её внедрения. Предложенные решения могут быть использованы организациями различного масштаба для повышения результативности процессов строительной деятельности и снижения рисков. Результаты исследования внедрены в ООО «СМИТ» и у ИП Гужин В. А., что подтверждено актами внедрения; расчётный годовой экономический эффект составляет 2,5 млн руб.

Положения, выносимые на защиту:

1. Обобщённая многоуровневая структурно-функциональная модель процесса реализации проектов строительной деятельности промышленного предприятия в нотации BPMN 2.0, отражающая альтернативные пути выполнения работ и встраивающая элементы управления качеством на каждом этапе.

2. Комплекс показателей и математическая модель интегральной оценки результативности процесса строительной деятельности, построенная на мультипликативной свёртке качества работ, соблюдения сроков, результативности использования ресурсов и рискоустойчивости, с введением показателя рисконасыщенности процесса и интегрированной системы оценки подрядчиков.

3. Адаптированная к процессам строительной деятельности промышленных предприятий методика анализа рисков организационного и технологических процессов на основе FMEA с оригинальными критериями оценки параметров риска и показателем рисконасыщенности процесса.

4. Методика повышения результативности процессов строительной деятельности в двухуровневой системе «организационный процесс – технологические процессы», основанная на трёх контурах PDCA и адаптированная для предприятий различного масштаба.

5. Результаты апробации разработанных решений на реальных строительных проектах, подтверждающие их практическую результативность.

Степень достоверности результатов подтверждается корректным применением математического и статистического аппарата (t-критерий Уэлча, точный U-критерий Манна–Уитни, d Коэна, анализ чувствительности, логарифмическая декомпозиция прироста), экспериментальными исследованиями на десяти реальных строительных проектах, обсуждением результатов на международных и всероссийских конференциях, а также непротиворечивостью выводов известным положениям теории управления качеством и риск-менеджмента.

Личный вклад автора. Постановка задач осуществлялась совместно с научным руководителем. Теоретические и практические исследования выполнены автором самостоятельно. В работах, выполненных в соавторстве, соискателю принадлежат: разработка процессной модели деятельности организации в нотации BPMN; адаптация методологии FMEA для процессов строительной деятельности; разработка системы показателей оценки качества и математической модели интегральной оценки; проведение FMEA-анализа строительных проектов; статистический анализ результатов внедрения корректирующих действий.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении» (Тула, 2024 г.); VIII Международной научной конференции молодых учёных «Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения» (Гродно, 2024 г.); Всероссийской научно-технической конференции «Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем АПК» (Курск, 2025 г.); Международной научно-технической конференции «Современные машиностроительные системы, технологии и инновации» (Воронеж, 2025 г.); Международном научно-практическом семинаре «Управление качеством» (Самара, 2026 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ, из них 3 статьи – в изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, 2 – в издании, индексируемом базой Scopus.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 110 наименований и десяти приложений. Общий объём диссертации составляет 212 страниц машинописного текста, включая 22 рисунка и 62 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определены цель и задачи, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведён анализ процессов строительной деятельности промышленных предприятий как объекта управления качеством. Показано, что строительное производство характеризуется единичным характером продукции, высокой вариативностью исходных данных, рассредоточенностью, зависимостью от внешних условий и распределённой ответственностью участников (заказчик, проектировщик, генподрядчик, субподрядчики), а для российской практики – дополнительно высокой долей государственного заказа с доминированием ценового критерия, кадровым дефицитом и незавершённостью цифровой трансформации. Установлено, что эти особенности определяют требования и к управлению качеством (невозможность стандартизации конечного продукта, повышенная роль

промежуточного контроля, адаптация требований ISO 9001 к каждому проекту), и к организации аутсорсинга (невозможность типовых договоров, оценка подрядчика под конкретный проект, многоуровневый субподряд).

Выполнен сравнительный анализ методологий моделирования процессов (IDEF0, ARIS, UML, EPC, BPMN) и опыта их применения в строительстве; обосновано, что для процессов реализации строительных проектов наиболее адекватна нотация BPMN 2.0, позволяющая через шлюзы и пулы отражать альтернативу «собственные силы / подрядчик» и встраивать контроль качества в тело процесса. Проанализированы системы оценки проектов и подрядчиков, включая опыт процессно-ориентированных отраслей; обоснована необходимость мультипликативной свёртки критериев, реализующей принцип «слабого звена». Систематизированы проблемы управления качеством при реализации строительных проектов (рисунок 1): отсутствие масштабируемых процессных моделей со встроенным контролем качества, отсутствие количественных показателей результативности процессов, необъективность выбора подрядчиков, неадаптированность FMEA к единичному строительству, понимание качества как соответствия нормам. Результаты сравнительного анализа нотаций моделирования применительно к строительным предприятиям обобщены в таблице 1.



Рисунок 1 – Систематизация проблем управления качеством при реализации строительных проектов

Обосновано позиционирование работы в специальности 2.5.22: выявленные проблемы решаются методами управления качеством – процессным

моделированием в рамках СМК, оценкой результативности процессов и риск-ориентированным управлением несоответствиями, – а не методами информационного моделирования и управления жизненным циклом объектов строительства (специальность 2.1.14); проблемы рассмотрены в двухуровневой системе «организационный процесс – технологические процессы».

Таблица 1 – Сравнение методик моделирования процессов применительно к строительной деятельности (фрагмент)

Методика	Преимущества	Ограничения	Применимость
IDEF0	Строгая дисциплина описания входов, выходов, механизмов; наглядность взаимодействия с подрядчиками и надзором	Не отражает сроки, параллельность бригад и простои; громоздка на уровне исполнителей	Верхний уровень, регламенты снабжения
ARIS (eEPC)	Увязка процессов с ERP и кадрами; стандартизация типовых объектов	Внешние факторы строительства плохо формализуются; высокие требования к ИТ-персоналу	Холдинги с однотипными объектами
UML	Строгая формализация логики информационных систем	Не воспринимается линейным персоналом; не описывает движение материалов и техники	Проектирование цифровых систем
BPMN 2.0	Дорожки исполнителей, таймеры, события-ошибки, шлюзы «собственные силы / подрядчик», интеграция с BIM	Низкая формализация допускает разночтения; крупные модели трудночитаемы	Основной инструмент: цикл «от котлована до сдачи»
EPC	Наглядные зависимости этапов; простота аудита	Слабая обработка прерываний; большие модели нечитаемы	Малые объекты

По итогам главы сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе разработана многоуровневая процессная модель деятельности организации в нотации BPMN. Верхний уровень (рисунок 2) включает семь этапов: планирование выполнения работы; выполнение работ собственными силами; поиск подрядчика и заключение договора; выполнение работ по договору; сдача-приёмка работ; эксплуатация; завершение цикла и улучшения, – а также дополнительный этап внедрения корректирующих действий подрядчиком. Ключевая особенность модели – шлюз выбора исполнителя после этапа планирования. Для каждого этапа определены входы, выходы, ресурсы и нормативно-управляющая документация; выполнена детализация второго уровня.

Разработана система оценки подрядчиков (поставщиков) при аутсорсинге, построенная по иерархическому принципу: 7 категорий (качество материалов и работ; соблюдение сроков; организация взаимодействия; безопасность и экология; финансовая дисциплина; лояльность и партнёрство; перспективность) по 3 показателя в каждой – всего 21 показатель. Состав категорий и рекомендуемые веса приведены в таблице 2; для каждого показателя определены формула расчёта, исходные данные, норматив и методика сбора (пример – таблица 3).

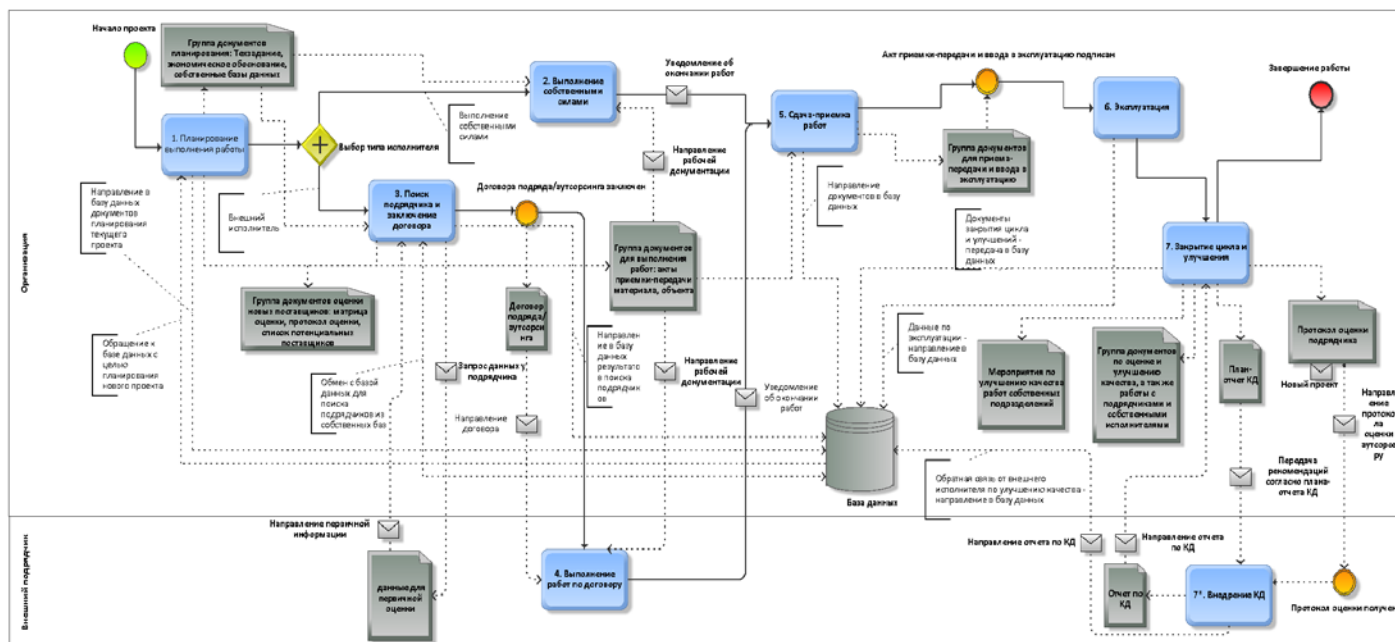


Рисунок 2 – Первый уровень процесса реализации строительного проекта

Таблица 2 – Категории оценки подрядчиков и их веса

Категория	Вес W_i	Примеры показателей
1. Качество материалов и работ	0,25	Соответствие ГОСТ/СНиП/ТУ; уровень дефектов при поставке; повторение претензий
2. Соблюдение сроков	0,20	Выполнение графика поставок; ритмичность; своевременность завершения этапов
3. Организация взаимодействия	0,15	Наличие сопроводительной документации; оперативность реагирования на претензии; гибкость условий
4. Безопасность и экология	0,10	Соблюдение норм охраны труда, экологической и пожарной безопасности
5. Финансовая дисциплина	0,12	Соблюдение бюджета; возмещение убытков; прозрачность отчётности
6. Лояльность и партнёрство	0,08	Участие в совместных инновациях; долгосрочные контракты; репутация
7. Перспективность	0,10	Сертифицированная СМК (ISO 9001); инвестиции в развитие; потенциал роста

Интегральная оценка подрядчика рассчитывается как взвешенная сумма оценок по категориям:

$$B = \sum_{i=1}^7 W_i \cdot B_i = \sum_{i=1}^7 \left(W_i \cdot \sum_{j=1}^3 w_{ij} \cdot P_{i,j} \right), \quad (1)$$

где B_i – интегральный показатель по i -й категории; $P_{i,j}$ – j -й показатель i -й категории (0–100 баллов); w_{ij} , W_i – веса показателей и категорий. По значению B подрядчику присваивается рейтинг: А – отличный (90–100), В – надёжный (75–89),

С – проблемный (50–74), D – неудовлетворительный (менее 50) – с регламентированными мерами реагирования.

Таблица 3 – Показатели категории «Соблюдение сроков» (фрагмент)

Показатель	Формула	Исходные данные	Норматив	Методика сбора
2.1 Выполнение графика поставок материалов	$P_{2.1} = \frac{A}{P} \cdot 100$	A – фактический срок; P – плановый срок	Отклонение $\leq 5\%$	ВМ-система, графики работ; еженедельно; отдел логистики
2.2 Ритмичность поставок	$P_{2.2} = 100 - \frac{A - P}{P} \cdot 100$	Отклонение от плана поставок	≥ 80 баллов	Отчёты о поставках; ежемесячно; менеджер проекта
2.3 Своевременность завершения этапов	Экспертная оценка (0–100 баллов)	Акты завершения этапов	100 баллов	ВМ-отчёты; ежемесячно; прораб

Разработана математическая модель интегральной оценки результативности процесса реализации строительного проекта. Ключевыми критериями выступают качество Q , соблюдение сроков T , результативность использования ресурсов E и рискоустойчивость R . Интегральный показатель представлен в мультипликативной форме:

$$I = Q^{\alpha} \cdot T^{\beta} \cdot E^{\gamma} \cdot R^{\delta}, \quad (2)$$

где $I, Q, T, E, R \in [0; 1]$; $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – весовые экспоненты, $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 1$ (в работе приняты 0,3; 0,2; 0,2; 0,3). Мультипликативная свёртка исключает компенсацию низкого значения одного показателя высокими значениями других, что соответствует последовательной природе строительного процесса.

Интегральный показатель качества агрегирует сводные показатели семи этапов, каждый из которых формируется из нормированных частных показателей этапа (всего 28 показателей):

$$Q = \sum_{k=1}^7 \beta_k S_k, \quad S_k = \sum_{m=1}^{M_k} \mu_{k,m} \cdot g_{k,m}(P_{k,m}), \quad (3)$$

где S_k – сводный показатель качества k -го этапа; $P_{k,m}$ – частные показатели; $g_{k,m}$ – функции нормирования; $\beta_k, \mu_{k,m}$ – веса. Показатель соблюдения сроков имеет сквозной характер и рассчитывается по всем задачам каждого этапа с последующим усреднением по этапам (среднее геометрическое):

$$T_s = \exp \left[- \sum_{k=1}^{N_s} \max \left(0, \frac{t_k^{fact} - t_k^{plan}}{t_k^{plan}} \right) \right], \quad T = \sqrt[N]{\prod_{s=1}^N T_s}, \quad (4)$$

где t_k^{fact}, t_k^{plan} – фактическая и плановая длительность k -й задачи; N_s – число задач этапа s .

Показатель результативности использования ресурсов агрегирует шесть нормированных показателей, характеризующих использование финансовых, трудовых и материальных ресурсов: коэффициент использования плановых затрат (КИПЗ), отдача от использованных ресурсов (ОИР), эффект привлечения внешних ресурсов (ЭВР), доля ресурсов, направленных на обеспечение качества (ДРОК), результативность вложений в улучшения (РВУ), срок возмещения использованных ресурсов (СВР):

$$E = \sum_{j=1}^6 \omega_j \cdot h_j(P_j), \quad j = 1 \dots 6, \quad (5)$$

где $P_1 = \text{КИПЗ}$; $P_2 = \text{ОИР}$; $P_3 = \text{ЭВР}$; $P_4 = \text{ДРОК}$; $P_5 = \text{РВУ}$; $P_6 = \text{СВР}$; $h(P_j)$ – функции нормирования; ω_j – веса показателей.

Для оценки рискоустойчивости введён показатель рисконасыщенности процесса – сумма чисел риска по всем причинам всех отказов этапа (число риска причины ЧРП = $S \cdot O \cdot D$ совпадает с классическим ПЧР для одной причины):

$$PH_S = \sum_{k=1}^{N_{отс}} \sum_{j=1}^{N_{прк}} ЧРП_{skj}, \quad PH = \sum_{s=1}^N PH_S, \quad (6)$$

который, в отличие от ПЧР, сопоставим между этапами и проектами. Рискоустойчивость определяется через кусочно-линейное нормирование рисконасыщенности в границах PH_{min} (эталонный процесс) и PH_{lim} (критически ненадёжный процесс) отдельно для организационного и технологического процессов:

$$R = 0,3 \cdot R_{общ} + 0,7 \cdot R_{техн}, \quad R_{общ} = 1 - N(PH_{общ}), \quad R_{техн} = 1 - N(PH_{техн}). \quad (7)$$

Функции нормирования частных показателей кусочно-линейны и строятся по нормативным уровням «цель – допустимо – критично»; например, для точности оценки стоимости ΔC :

$$g(\Delta C) = \begin{cases} 1, & |\Delta C| \leq 5\%; \\ 1 - \frac{|\Delta C| - 5}{10}, & 5\% < |\Delta C| \leq 15\%; \\ 0, & |\Delta C| > 15\%. \end{cases} \quad (8)$$

Границы нормирования рисконасыщенности задаются для технологических процессов по перцентилям распределения рисконасыщенности успешных и неуспешных проектов (при накоплении статистики не менее чем по 10 проектам одного типа), а для организационного процесса, существующего в единственном экземпляре, – структурно, через число выявленных отказов: $PH_{min} = N_{отк} \cdot 125$, $PH_{lim} = N_{отк} \cdot 300$.

Для каждого показателя разработаны шкалы интерпретации; для I : 0,90–1,00 – отличная, 0,75–0,89 – хорошая, 0,60–0,74 – удовлетворительная, 0,45–0,59 – неудовлетворительная, менее 0,45 – недопустимая результативность; для R : 0,90–1,00 – очень высокий уровень («зелёная зона»), 0,75–0,89 – высокий, 0,50–0,74 –

средний («жёлтая зона»), 0,25–0,49 – низкий, менее 0,25 – критический («красная зона», требуется реинжиниринг процесса). Предложен алгоритм оценки (рисунок 3): сбор исходных данных → расчёт Q , T , E , R → мультипликативная свёртка → интерпретация по шкалам → формирование паспорта результативности проекта, содержащего значения показателей, выявленные «слабые звенья» и назначенные корректирующие действия; паспорт является входом этапа завершения цикла и улучшений процессной модели.

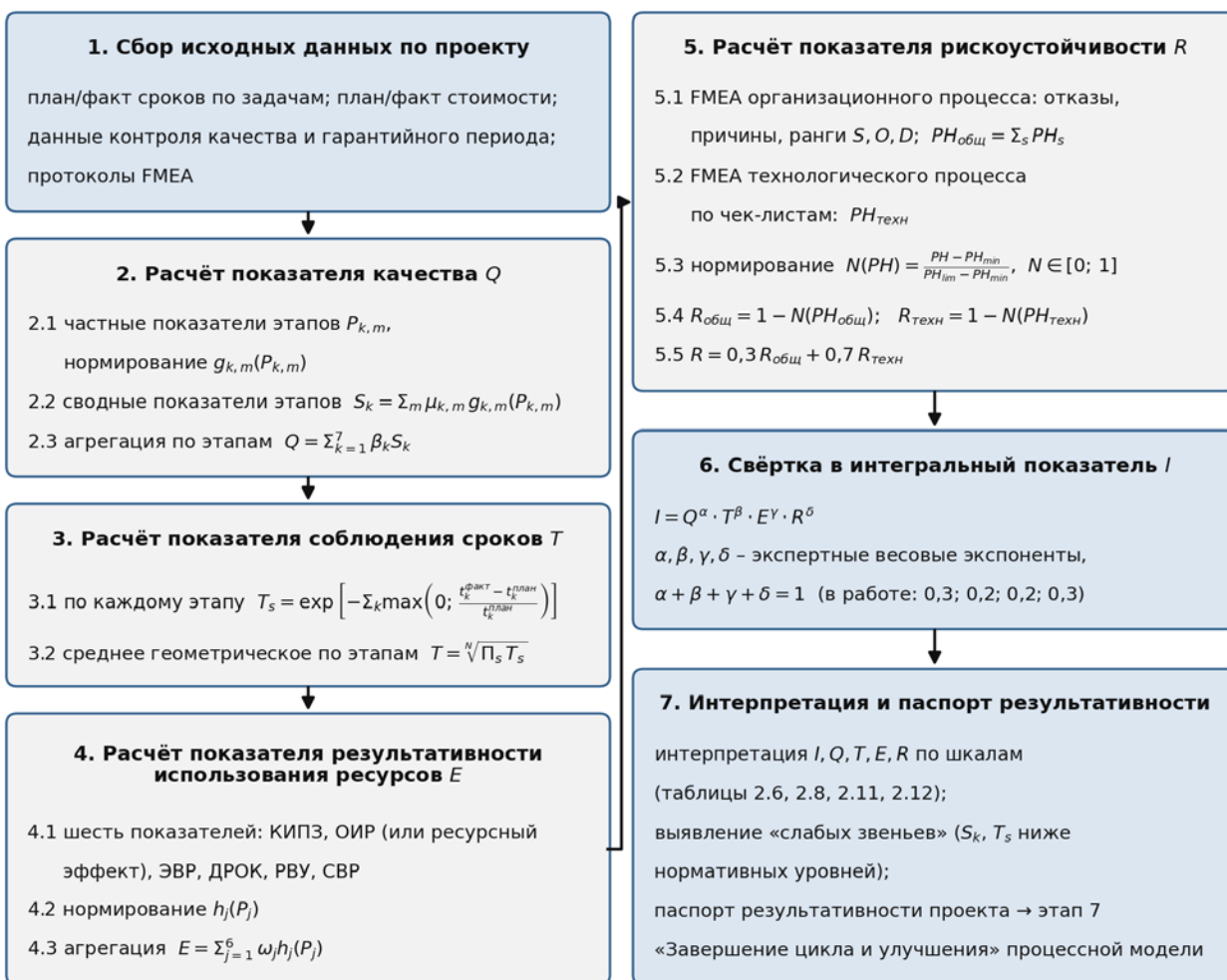


Рисунок 3 – Алгоритм оценки интегрального показателя результативности проекта

В третьей главе методология FMEA адаптирована к строительным процессам: разработаны отраслевые шкалы значимости последствий (S), возникновения (O) и обнаружения (D), в которых акцент смещён с отказа элемента на отказ операции или этапа процесса, а критерии увязаны с последствиями для сроков, бюджета, безопасности труда и эксплуатационной пригодности объекта. Фрагмент шкалы приведён в таблице 4.

Таблица 4 – Критерии оценки параметров S и D (фрагмент)

Балл	Последствие (S)	Возможность обнаружения (D)
10	Выбор подрядчика, чья деятельность может привести к нарушению требований безопасности, экологических норм или законодательства; угроза жизни/здоровью, неотвратимые санкции	Нет мер контроля процесса; ошибка не обнаруживается на последующих этапах
9	Выбор подрядчика, чья деятельность может привести к нарушению требований безопасности, экологических норм или законодательства РФ без угрозы жизни и здоровью людей	Контроль случайный или эпизодический; нет критериев проверки
...	...	...
1	Ошибки не привели к негативным последствиям	Ошибка полностью исключена (предупреждение)

Проведён FMEA-анализ организационного процесса по всем семи этапам модели: выявлено 29 отказов; суммарная рисконасыщенность $RH_{\text{общ}} = 5980$ при среднем ПЧР одного отказа 206; 42,6 % рисконасыщенности приходится на этап выбора подрядчика, где наиболее критичны отсутствие исторических данных о качестве подрядчика (ПЧР = 336), мошеннические предложения (300), некорректные критерии оценки (280), включение сомнительных подрядчиков (270), отсутствие документации отбора (252). Показатель рискоустойчивости $R_{\text{общ}} = 0,536$ (средний уровень). Распределение рисконасыщенности по этапам приведено в таблице 5. Для пяти отказов с наибольшими ПЧР разработаны корректирующие действия (КД), такие как постпроектная оценка подрядчиков, утверждённая методика оценки, электронное документирование отбора, проверка репутации кандидатов и другие, опирающиеся на инструментарий главы 2; по повторной оценке ПЧР снижены на 29–33 %, рисконасыщенность процесса – на 7,5 %, $R_{\text{общ}}$ повышен до 0,624.

Таблица 5 – Рисконасыщенность организационного процесса по этапам

Этап процесса	Число отказов	RH_s до КД	Доля, %	RH_s после КД
1. Планирование выполнения работы	4	896	15,0	896
2. Выполнение работ собственными силами	4	700	11,7	700
3. Поиск подрядчика и заключение договора	10	2548	42,6	2102
4. Выполнение работ по договору	4	780	13,0	780
5. Сдача-приёмка работ	3	428	7,2	428
6. Эксплуатация	2	344	5,8	344
7. Завершение цикла и улучшения	2	284	4,7	284
Итого	29	5980	100	5534

Разработана упрощённая методика оценки рисконасыщенности технологических процессов на основе типовых чек-листов отказов по классам работ (10–15 отказов на класс) с регламентом периодичности, распределением ответственности и показателями мониторинга; типовые отказы и сопоставленные

им типовые корректирующие действия выступают элементом стандартизации оценки рисков; трудоёмкость анализа снижается в 5–7 раз. По ней проанализированы технологические процессы десяти ремонтно-строительных проектов ООО «СМИТ»: шести, выполненных до внедрения корректирующих действий, и четырёх – после (рисконасыщенность от 2450 до 4400).

Выполнена апробация математической модели на этих десяти проектах (таблица 6, рисунок 4). До внедрения корректирующих действий пять из шести проектов имели неудовлетворительную результативность (среднее $I = 0,553$); ограничивающими составляющими являлись результативность использования ресурсов (среднее 0,402) и рискоустойчивость (0,428). Все четыре проекта, выполненные после внедрения корректирующих действий, перешли в зону удовлетворительной результативности (среднее $I = 0,636$); разброс значений сократился вдвое.

Таблица 6 – Результаты оценки проектов до и после внедрения корректирующих действий

Проект	Группа	Q	T	E	R	I
Щитовая	до КД	0,699	0,898	0,417	0,424	0,571
Асфальт	до КД	0,624	0,714	0,346	0,526	0,541
Профнастил	до КД	0,649	0,842	0,353	0,514	0,564
Теплотрасса	до КД	0,638	0,898	0,361	0,299	0,486
Кровля-1	до КД	0,652	0,859	0,378	0,350	0,513
Ливнёвка	до КД	0,760	1,000	0,554	0,452	0,645
Асфальт-2	после КД	0,723	0,845	0,412	0,596	0,629
Кровля-2	после КД	0,751	0,948	0,430	0,451	0,604
Профлист-2	после КД	0,780	0,982	0,452	0,589	0,673
Кабель	после КД	0,752	1,000	0,460	0,502	0,639
Среднее «до»		0,670	0,869	0,402	0,428	0,553
Среднее «после»		0,751	0,944	0,439	0,534	0,636
Прирост, %		+12,1	+8,7	+9,2	+24,9	+15,0

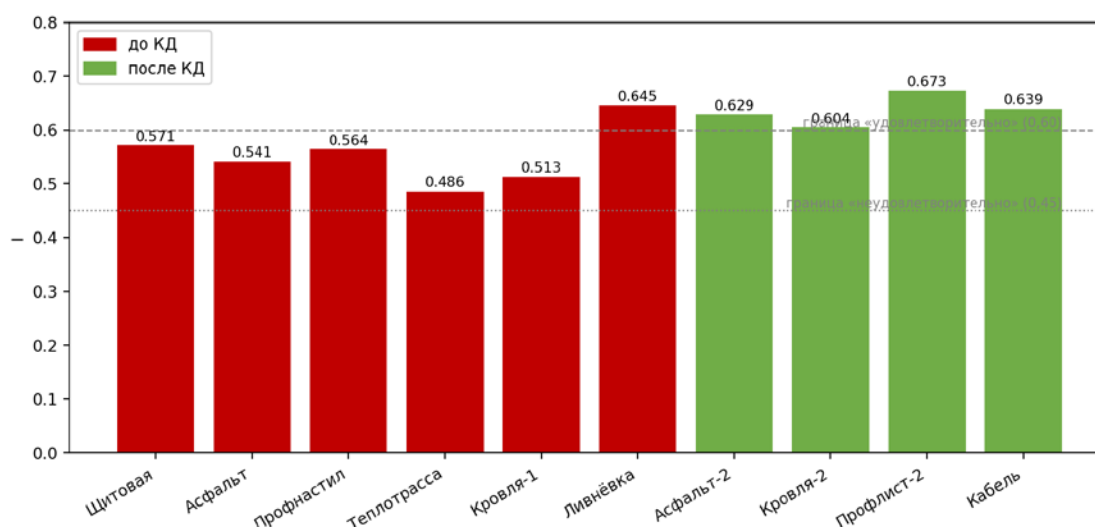


Рисунок 4 – Интегральный показатель результативности по проектам

Прирост среднего I составил 15,0 %. Различие статистически значимо по интегральному показателю и качеству (односторонний точный U-критерий Манна–Уитни, $p = 0,033$ и t-критерий Уэлча, $p \leq 0,007$) при большом размере эффекта (d Коэна 1,77 и 1,91); различие по рискоустойчивости значимо по t-критерию ($p = 0,035$); различия по срокам и результативности использования ресурсов характеризуются как положительная тенденция. Анализ чувствительности показал устойчивость выводов к выбору весовых экспонент (прирост 13–16 % при ρ Спирмена $\geq 0,94$). Результаты статистической проверки сведены в таблицу 7; распределение показателей в группах показано на рисунке 5.

Таблица 7 – Статистическая проверка различий между группами «до» ($n = 6$) и «после» ($n = 4$)

Показатель	Прирост среднего, %	p (t-критерий Уэлча)	p (точный U-критерий)	d Коэна	Вывод
Q	+12,1	0,005	0,033	1,91	значимо
T	+8,7	0,092	0,176	0,88	тенденция
E	+9,2	0,159	0,086	0,58	тенденция
R	+24,9	0,035	0,086	1,28	значимо по t
I	+15,0	0,007	0,033	1,77	значимо

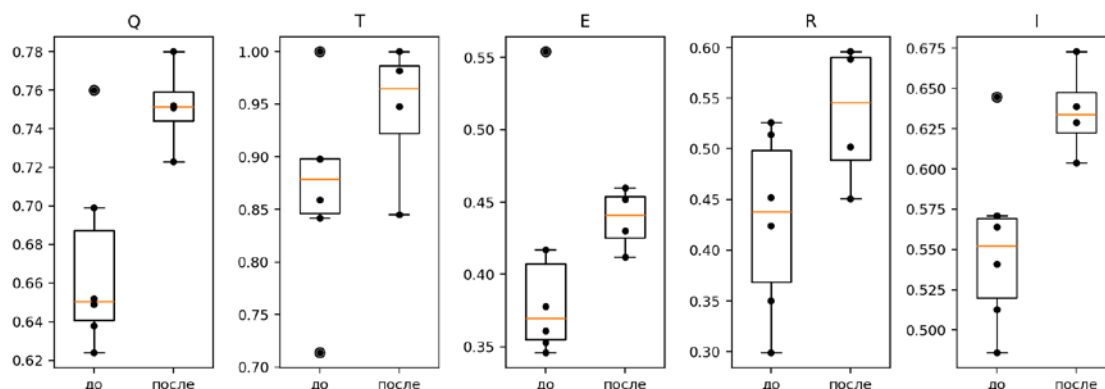


Рисунок 5 – Распределение показателей в группах «до» и «после» внедрения корректирующих действий

Логарифмическая декомпозиция прироста (рисунок 6) показала, что основной вклад дала рискоустойчивость (49,5 %), затем качество (24,3 %), результативность использования ресурсов (14,2 %) и сроки (12,0 %), что соответствует направленности внедрённых корректирующих действий.

Апробация системы оценки подрядчиков на трёх реальных организациях (рисунок 7) показала её способность различать сегменты рынка (рейтинги В – 88,6 балла, С – 69,9 и D – 48,1), выявлять скрытые риски по отдельным показателям (профили по категориям, диаграммы по 21 показателю с нормативной линией, тепловая карта) и обосновывать решения с учётом цены контракта через матрицу принятия решений.

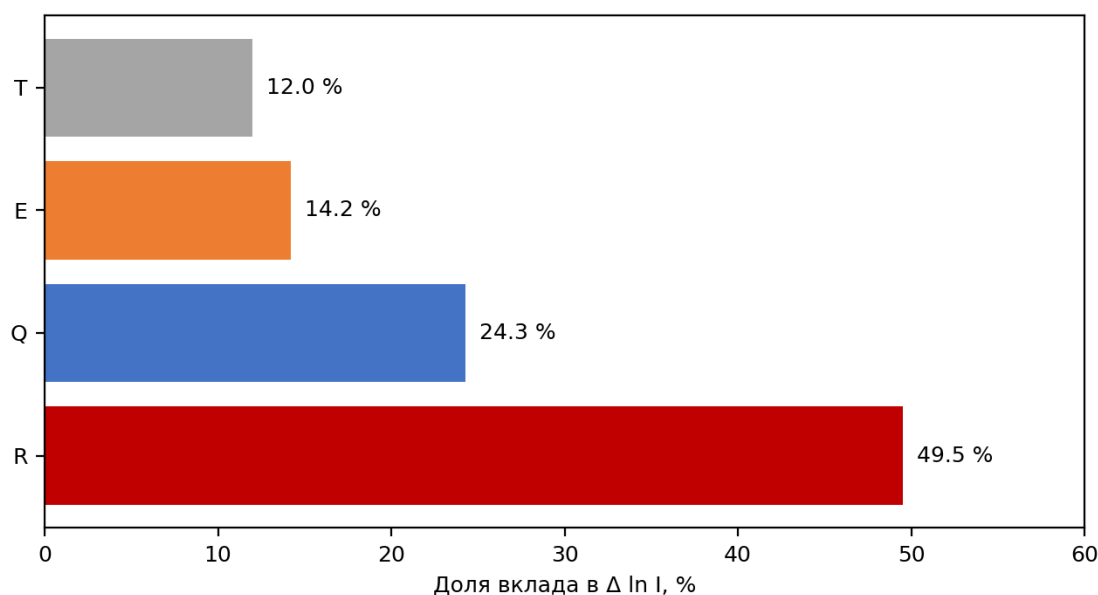


Рисунок 6 – Декомпозиция прироста интегрального показателя по составляющим

Система служит и инструментом развития поставщиков: по результатам развивающего аудита с планом корректирующих действий (назначение ответственного за охрану труда, еженедельные оперативные совещания, цифровой чек-лист скрытых работ) интегральная оценка одного из подрядчиков повышена с 69,9 до 81,5 балла (переход из рейтинга С в В).

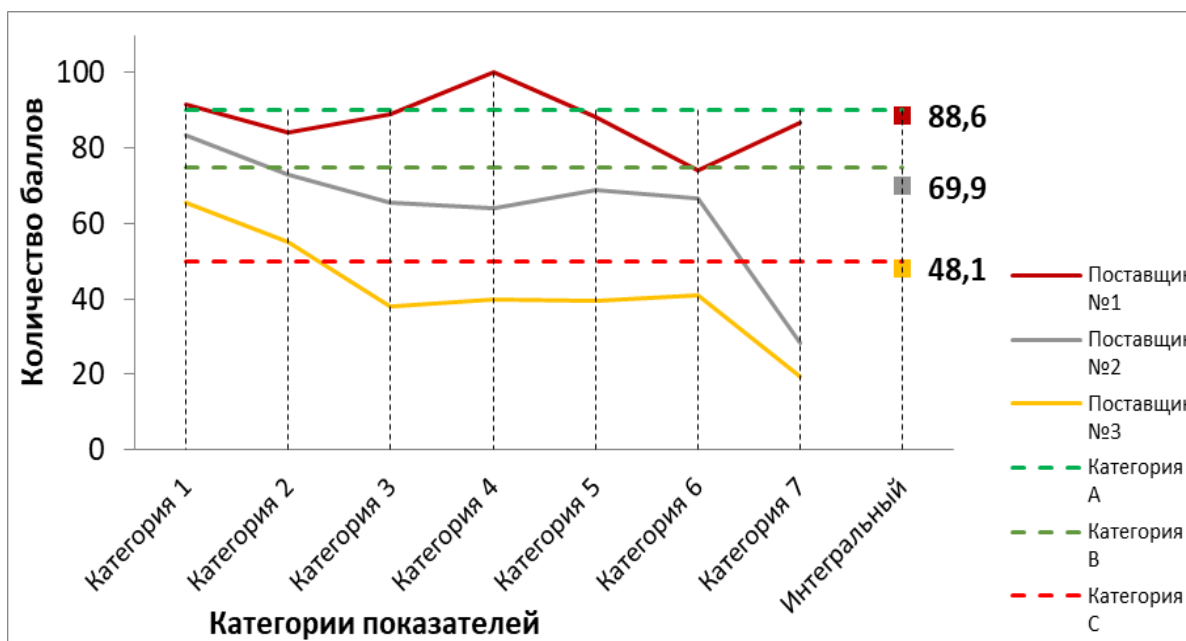


Рисунок 7 – Сравнительная оценка подрядчиков по категориям

В четвёртой главе разработана методика повышения результативности процессов реализации строительных проектов, объединяющая результаты глав 2 и 3 и реализующая три взаимосвязанных контура PDCA (рисунок 8): контур А – стратегическое улучшение организационного процесса на основе FMEA верхнего уровня; контур Б – текущее управление качеством в ходе реализации проектов с FMEA технологических процессов по чек-листам; контур В – интегральная оценка результативности завершённых проектов с обратной связью в контуры А и Б. Построена матрица соответствия элементов методики требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015, определены роли, ответственность и обязательные документы.

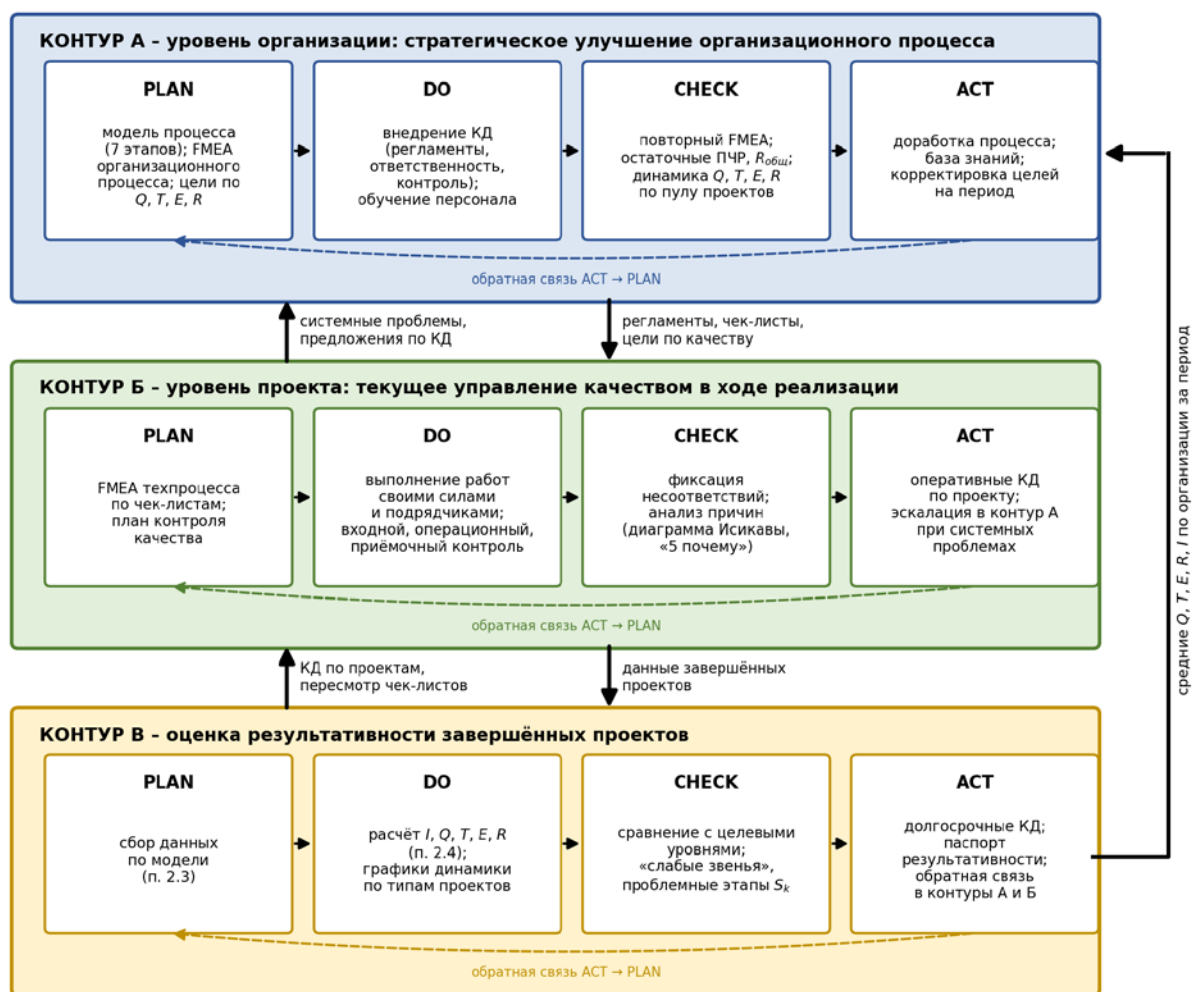


Рисунок 8 – Контуры повышения результативности процессов в полной методике

Для малых строительных предприятий разработана упрощённая методика, являющаяся частным случаем полной: пять укрупнённых этапов, укороченные чек-листы (5–7 отказов), те же четыре составляющие интегрального показателя с равными весами, $I_{упр} = \sqrt[4]{Q_{упр} \cdot T_{упр} \cdot E_{упр} \cdot R_{упр}}$, три обязательных документа. Основные отличия упрощённой методики от полной приведены в таблице 8, цикл упрощённой методики – на рисунке 9.

Таблица 8 – Отличия упрощённой методики от полной

Аспект	Полная методика	Упрощённая методика
Процессная модель	7 этапов с детализацией до подэтапов	5 укрупнённых этапов
FMEA организационного процесса	Ежегодно, межфункциональная команда	Не проводится; риски – через чек-листы технологических процессов
FMEA технологического процесса	Полные чек-листы (10–15 отказов на класс)	Укороченные чек-листы (5–7 отказов)
Рискоустойчивость R	$R_{общ}$ и $R_{техн}$ с калибровкой границ	Только $R_{техн}$ с фиксированными границами
Интегральный	Четыре составляющие с	Четыре составляющие с равными

Аспект	Полная методика	Упрощённая методика
показатель	экспертными весами	весами
Показатели результативности использования ресурсов	6	3 (КИПЗ, ОИР или ресурсный эффект, ЭВР)
Документы	7 обязательных	3 (политика качества, паспорт результативности, реестр КД)
Ответственные	Отдел качества, риск-менеджер, экономист	Руководитель предприятия, руководитель проекта, бухгалтер



Рисунок 9 – Цикл упрощённой методики повышения результативности процессов для малых строительных предприятий

Предложены рекомендации по поэтапному внедрению методики с учётом уровня зрелости системы менеджмента качества организации по пятиуровневой шкале (начальный – повторяемый – определённый – управляемый – оптимизирующий): четыре этапа внедрения продолжительностью от 1–3 до 13–24 месяцев – базовый учёт дефектов и сроков; внедрение упрощённой методики с паспортом проекта и реестром корректирующих действий; переход к полной методике с процессной моделью, FMEA и автоматизированным сбором данных; калибровка границ нормирования, корректировка весов по анализу чувствительности, бенчмаркинг и при необходимости сертификация СМК.

Организация входит в план с этапа, соответствующего её текущему уровню зрелости.

Предложена методика оценки экономического эффекта от внедрения как результата предотвращения потерь по трём каналам – перерасход сметы, затраты на качество, задержки, – сводящаяся к ставке эффекта в долях плановой стоимости проектов; по данным апробации ставка составила 5,1 %, из которых около 90 % формируется снижением перерасхода сметы. Годовой эффект определяется как $\mathcal{E} = \varepsilon \cdot V_{\text{год}}$, где ε – ставка эффекта (в долях плановой стоимости проектов); $V_{\text{год}}$ – плановая стоимость проектов, выполняемых по методике за год. Оценка сопровождается оговорками: ставка получена на выборке 6 + 4 проекта и уточняется по мере накопления данных; для упрощённой методики принята равной ставке полной; эффект по задержкам приведён при консервативной стоимости дня простоя; снижение трудоёмкости оценки рисков в денежный эффект не включено.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Проведён анализ особенностей строительной деятельности и выявлены системные проблемы управления качеством, обусловленные единичным характером производства: отсутствие процессных моделей со встроенным контролем качества, отсутствие количественных показателей результативности процессов, необъективность выбора подрядчиков и неадаптированность методов риск-анализа. Обоснован выбор нотации BPMN 2.0 и мультипликативной свёртки критериев.

2. Разработана обобщённая многоуровневая структурно-функциональная модель процесса реализации строительного проекта в нотации BPMN, охватывающая семь этапов жизненного цикла, интегрирующая альтернативные пути выполнения работ и элементы управления качеством на каждом этапе.

3. Разработан комплекс показателей (28 поэтапных показателей качества, 6 показателей результативности использования ресурсов, сквозной показатель сроков) и математическая модель интегральной оценки результативности процесса на основе мультипликативной свёртки составляющих с показателем рисконасыщенности; разработана система оценки подрядчиков (7 категорий, 21 показатель) с рейтинговой шкалой и матрицей принятия решений.

4. Адаптирована методология FMEA для процессов строительной деятельности; проведён FMEA-анализ организационного процесса (29 отказов, $R_{\text{Н}_{\text{общ}}} = 5980$, $R_{\text{общ}} = 0,536 \rightarrow 0,624$ после корректирующих действий) и технологических процессов десяти проектов; разработана упрощённая методика оценки рисков на основе чек-листов, снижающая трудоёмкость анализа в 5–7 раз.

5. Разработана методика повышения результативности процессов на основе трёх контуров PDCA, её упрощённая версия для малых предприятий, рекомендации по поэтапному внедрению и методика оценки экономического эффекта.

6. Апробация на десяти реальных проектах ООО «СМИТ» показала прирост среднего интегрального показателя результативности на 15,0 % (с 0,553 до 0,636), статистически значимый по интегральному показателю и качеству ($p = 0,033$) при большом размере эффекта, с основным вкладом рискоустойчивости (49,5 %). Расчётный годовой экономический эффект от внедрения составил 2, 5 млн руб. в ООО «СМИТ» и у ИП Гужин В. А., что подтверждено актами внедрения.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

1. Математическая модель комплексной оценки эффективности реализации проектов с учетом рисков / Д. И. Панюков, Д. А. Гусев, В. Н. Козловский, Н. С. Тондель // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2026. – Т. 28, № 3. – С. 179–186.

2. Проектирование сквозного процесса управления проектами с использованием BPMN / Д. И. Панюков, Д. А. Гусев, В. Н. Козловский, И. А. Федулов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2026. – Т. 28, № 3. – С. 163–169.

3. Показатели и критерии оценки результативности и эффективности систем управления предприятием / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский, О. И. Антипова, Д. А. Гусев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 5. – С. 30–34. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-5-30-31.

Публикации в изданиях, индексируемых базой Scopus

4. Methodology for Evaluating and Selecting Suppliers for Outsourcing in the Construction Sector / D. I. Panyukov, V. N. Kozlovskii, D. A. Gusev, I. I. Khabibulin // Russian Engineering Research. – 2025. – Vol. 45, No. 9. – P. 1322–1326. – DOI 10.3103/S1068798X25702041.

5. Developing a Process Risk Exposure Indicator as an Extension of FMEA / D. I. Panyukov, V. N. Kozlovskii, D. A. Gusev, I. V. Timonin // Russian Engineering Research. – 2026. – Vol. 46, No. 7. – P. 958–964. – DOI 10.3103/S1068798X26701157.

Другие наиболее значимые публикации

6. Разработка показателя рисконасыщенности процесса на основе методологии FMEA / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский, Д. А. Гусев, И. В. Тимонин // СТИН. – 2026. – № 6. – С. 24–30.

7. Методика оценки и выбора поставщиков при аутсорсинге в строительной сфере / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский, Д. А. Гусев, И. И. Хабибулин // СТИН. – 2025. – № 8. – С. 41–44.

8. Гусев, Д. А. Оценка эффективности использования аутсорсинга транспортных услуг в области строительства / Д. А. Гусев // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сборник материалов VIII Международной научной конференции молодых учёных, Гродно, 30 мая 2024 г. – Гродно : ГрГУ им. Янки Купалы, 2024. – С. 528–536.

9. Гусев, Д. А. Вопросы управления качеством аутсорсинговых работ в строительных организациях / Д. А. Гусев, Д. И. Панюков // Современные машиностроительные системы, технологии и инновации : сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Воронеж, 6 марта 2025 г. – Воронеж : Университетская книга, 2025. – С. 90–95.

10. Гусев, Д. А. Разработка процессной модели управления строительной организацией на основе нотации BPMN / Д. А. Гусев // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2025. – № 6 (87). – С. 357–362.