

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический университет»

На правах рукописи

ГУСЕВ ДМИТРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССОВ РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ

2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация.

Организация производства

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Панюков Дмитрий Иванович

Самара – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАРИЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	14
1.1 Понятие и особенности строительной деятельности промышленных предприятий.....	14
1.2 Моделирование процессов строительной деятельности.....	23
1.3 Системы оценки проектов и процессов в строительной деятельности.....	35
1.4 Аутсорсинг в строительстве и системы оценки подрядчиков и поставщиков.....	44
1.5 Систематизация проблем управления качеством при реализации строительных проектов	52
1.6 Выводы по главе.....	57
1.7 Цель и задачи диссертационного исследования	59
2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ	62
2.1 Построение многоуровневой процессной модели деятельности строительной организации в нотации BPMN.....	62
2.2 Разработка системы оценки подрядчиков (поставщиков) при аутсорсинге в процессах реализации строительных проектов.....	72
2.3 Математическая модель оценки строительного проекта.....	76
2.4 Алгоритм оценки интегрального показателя результативности строительного проекта.....	100
2.5 Выводы по главе.....	101
3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ И АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ	105

3.1 Исследование организационного процесса реализации строительного проекта методом FMEA.....	105
3.2 Оценка проектов по математической модели интегрального показателя результативности.....	124
3.3 Оценка результативности корректирующих действий	128
3.4 Апробация системы оценки подрядчиков (поставщиков) на данных строительной организации	134
3.5 Выводы по главе.....	141
4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ НА БАЗЕ ГОСТ Р ИСО 9001-2015.....	144
4.1 Полная методика повышения результативности процессов для строительной организации	144
4.2 Упрощённая методика повышения результативности процессов для малых строительных предприятий.....	150
4.3 Рекомендации по поэтапному внедрению методики	154
4.4 Оценка экономического эффекта от внедрения методики	156
4.5 Выводы по главе.....	158
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	161
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	166
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Модели второго уровня для этапов 2–7 и 7* процесса реализации строительного проекта	181
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Категории, показатели и метрики оценки подрядчиков при аутсорсинге в процессах реализации строительных проектов.....	189
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Показатели качества по этапам процесса реализации строительного проекта.....	192

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Шкала интерпретации результата оценки рискоустойчивости.....	199
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Пилотные протоколы FMEA операций этапа 3 «Поиск подрядчика и заключение договора»	200
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Примечания к чек-листу оценки рисков технологических процессов	202
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Расширенный протокол FMEA организационного процесса реализации строительного проекта	203
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Пример расчёта интегрального показателя результативности для проекта «Техническое перевооружение электрощитовой».....	207
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. Пример укороченного чек-листа оценки рисков для упрощённой методики (класс «Общестроительные работы»)	210
ПРИЛОЖЕНИЕ 10. Акты внедрения результатов диссертационного исследования.....	211

ВВЕДЕНИЕ

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. Natush, M. Skitmore), многокритериальной оценки в строительстве (E. K. Zavadskas) и применения FMEA к рискам строительных проектов (M. Abdelgawad, A. R. Fayek).

Однако, несмотря на значительное количество научных и практических разработок в перечисленных областях, для предприятий, реализующих проекты строительной деятельности в условиях высокой степени

неопределённости и уникальности объектов, по-прежнему остаются недостаточно развитыми следующие направления: 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 качества, объединяющие технические, временные и риск-ориентированные аспекты оценки результативности процессов; практические механизмы управления качеством, учитывающие специфику единичного производства и малых строительных предприятий.

Проведённый обзор литературы свидетельствует о недостаточной разработанности данной темы в контексте управления качеством процессов строительной деятельности. Это обусловлено отсутствием: обобщённых структурно-функциональных моделей процесса реализации строительного проекта со встроенными элементами контроля качества; математических моделей интегральной оценки результативности процессов, ориентированных на технические, а не экономические аспекты; методик управления качеством, адаптированных для процессов строительной деятельности и учитывающих специфику единичного производства; апробированных подходов к анализу рисков с использованием методологии FMEA для строительных проектов различного типа.

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, квалиметрии, экспертных оценок, статистических методах, а также методе анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA).

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке подходов и инструментария повышения качества процессов реализации строительных проектов и 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 диссертационного исследования заключается в развитии методологии управления качеством применительно к процессам строительной деятельности промышленных предприятий, характеризующимся высокой степенью неопределённости и уникальности объектов. Разработанный комплексный подход вносит вклад в теорию управления качеством в части адаптации известных методов (процессное моделирование, FMEA, интегральная оценка) к специфике единичного производства.

Практическая значимость диссертационного исследования 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 (Приложение 10); 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. Достоверность полученных результатов подтверждается корректным применением математического и статистического аппарата (t-критерий Уэлча, точный U-критерий Манна–Уитни, d Козна, анализ чувствительности, логарифмическая декомпозиция прироста), экспериментальными исследованиями на десяти реальных строительных проектах, обсуждением результатов диссертации на международных и всероссийских конференциях, форумах и семинарах, а также непротиворечивостью полученных выводов известным положениям теории управления качеством и риск-менеджмента.

Личный вклад автора. Постановка задач осуществлялась совместно с научным руководителем. Теоретические и практические исследования автором выполнены 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 следующих научных конференциях и семинарах: на IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении» (Тула, 2024 г.); на VIII Международной научной конференции молодых учёных «Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения» (Гродно, 2024 г.); на Всероссийской научно-технической конференции «Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем АПК» (Курск, 2025 г.); на Международной научно-технической конференции «Современные машиностроительные системы, технологии и инновации» (Воронеж, 2025 г.); на 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 изданиях, индексируемом базой Scopus.

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

1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАРИЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

1.1 Понятие и особенности строительной деятельности промышленных предприятий

Строительная деятельность представляет собой одну из ключевых сфер экономики любой страны, определяющую темпы развития промышленности, транспорта, энергетики, жилищно-коммунального хозяйства и социальной инфраструктуры. В России, как и в большинстве стран мира, строительство входит в число приоритетных отраслей, оказывающих мультипликативный эффект на смежные секторы: металлургию, машиностроение, химическую промышленность, производство строительных материалов, транспорт и логистику [35, 37].

Вместе с тем строительство принципиально отличается от сферы материального производства, где осуществляется серийный или массовый выпуск стандартизированной продукции. Если на промышленном предприятии технологический процесс, как правило, повторяется изо дня в день с незначительными вариациями, то в строительстве каждый новый объект (здание, сооружение, инфраструктурный комплекс) обладает уникальными характеристиками, определяемыми множеством факторов: местоположение, инженерно-геологические условия, архитектурно-планировочные решения, применяемые материалы, требования заказчика, бюджетные ограничения и сроки реализации.

Ключевое отличие строительства от серийного производства заключается в том, что строительная продукция создаётся в условиях единичного (индивидуального) производства [35, 80]. Каждый строительный проект представляет собой уникальный набор задач, решаемых в конкретных пространственно-временных условиях. Даже при возведении типовых объектов (например, многоквартирных жилых домов по повторно

применяемому проекту) каждый строительный объект имеет свои особенности: разный рельеф участка, разные поставщики материалов, разные бригады рабочих, разные погодные условия в период строительства [30, 75].

В таблице 1.1 приведено сравнение характеристик серийного промышленного производства и индивидуального строительного производства.

Таблица 1.1 – Сравнение серийного промышленного производства и строительной деятельности

Характеристика	Серийное промышленное производство	Строительная деятельность
Тип производства	Массовое или крупносерийное	Единичное (индивидуальное)
Повторяемость процессов	Высокая (один и тот же продукт выпускается тысячами единиц)	Низкая (каждый объект уникален)
Степень стандартизации	Высокая (ГОСТ, ТУ на готовую продукцию)	Средняя (стандартизованы материалы, нормативно-законодательная база, но не конечный продукт)
Локализация производства	Стационарное предприятие (завод, цех)	Распределенная (строительная площадка, привязанная к месту)
Условия выполнения работ	Контролируемые (цех, постоянная температура, освещение)	Внешняя среда (погода, сезонность, рельеф, грунты)
Изменчивость исходных данных	Минимальная (партия однородного сырья)	Высокая (каждый участок имеет свои геологические и гидрологические характеристики)
Организационная структура	Стабильная (постоянный коллектив, закреплённый за рабочими местами)	Временная (проектная команда формируется под каждый объект)
Ответственность за результат	Производитель (завод)	Распределённая (заказчик, проектировщик, генподрядчик, субподрядчики)

Как следует из таблицы 1.1, строительное производство характеризуется высокой степенью неопределённости, изменчивости и уникальности каждого проекта. Это предъявляет особые требования к управлению качеством, сроками и стоимостью, а также к организации взаимодействия между многочисленными участниками строительного процесса [20, 35].

Строительная деятельность промышленного предприятия охватывает капитальное строительство, реконструкцию, ремонт и техническое перевооружение объектов производственной инфраструктуры – зданий, сооружений, инженерных сетей и технологических коммуникаций. В отличие от строительной продукции как конечного результата, эти процессы обслуживают основной производственный процесс предприятия и потому подлежат управлению в рамках его системы менеджмента качества. Требования к такому управлению установлены ГОСТ Р ИСО 9001-2015 с

учётом отраслевых указаний ГОСТ Р 55048-2012. Соответственно, объектом настоящего исследования выступают процессы строительной деятельности предприятия, а предметом – методы и модели обеспечения качества этих процессов: процессное моделирование, система показателей результативности, интегральная оценка и анализ рисков. Если система менеджмента качества на предприятии формально не внедрена, разрабатываемые инструменты рассматриваются как основа для её построения.

Разграничение предметных областей имеет принципиальное значение для позиционирования работы. Смежная специальность 2.1.14 «Управление жизненным циклом объектов строительства» охватывает управление объектом капитального строительства на всех этапах его жизненного цикла – от обоснования инвестиций и инженерных изысканий до эксплуатации, реконструкции и вывода из эксплуатации: проектирование организационных структур и систем управления строительными системами; информационное и математическое моделирование объектов; проектное управление и планирование производственных процессов в условиях неопределённости и риска; управление данными информационных моделей; управление организационными и информационными процессами в строительстве; техническое нормирование процессов организации и управления объектами строительства (направления исследований 1–10 паспорта специальности). Объектом управления в этой специальности выступает объект строительства и строительная система в целом, а основным инструментом – информационная модель объекта. Специальность 2.5.22 охватывает методы и инструменты управления качеством, стандартизации и организации производства: разработку и развитие систем менеджмента качества, моделирование процессов в рамках СМК, методы оценки качества объектов и процессов, инструменты оценки, мониторинга и прогнозирования качества, организацию производства в условиях организационно-управленческих, технологических и технических рисков. Настоящее исследование относится ко второй области:

объектом управления является не объект строительства и не его жизненный цикл, а процесс реализации строительного проекта как процесс системы менеджмента качества предприятия по ГОСТ Р ИСО 9001-2015; результатом – инструменты оценки и повышения результативности этого процесса (процессная модель как элемент СМК, комплекс показателей и интегральная оценка результативности, анализ видов и последствий потенциальных отказов, корректирующие действия в циклах PDCA, оценка подрядчиков), а не методы информационного моделирования и управления жизненным циклом объектов. Преимущество подхода со стороны управления качеством для решения поставленных задач состоит в том, что он даёт единую количественную меру результативности процесса, сопоставимую между проектами и предприятиями, позволяет управлять несоответствиями и рисками на уровне организационного и технологических процессов, а не отдельного объекта, и не требует создания информационной модели объекта, что делает его применимым на промышленных предприятиях, для которых строительство не является основной деятельностью.

Соответствие работы пунктам паспорта специальности 2.5.22 состоит в следующем. Пункт 4 (инновации при разработке, развитии, цифровизации систем менеджмента качества предприятий и организаций) реализуется через многоуровневую процессную модель строительной деятельности в нотации BPMN, которая может служить основой для цифровизации управления качеством. Пункт 5 (методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством) реализуется через комплекс показателей и математическую модель интегральной оценки результативности процесса, а также через систему оценки подрядчиков. Пункт 9 (разработка и совершенствование научных инструментов оценки, мониторинга и прогнозирования качества продукции и процессов) реализуется через методику повышения результативности, построенную на трёх контурах PDCA, и через интегральный показатель, пригодный для мониторинга. Пункт 22 (разработка методов и средств организации производства в условиях

организационно-управленческих, технологических и технических рисков) реализуется через адаптированную методологию FMEA, показатель рисконасыщенности и упрощённую методику оценки рисков технологических процессов на основе типовых чек-листов.

Уникальность каждого строительного объекта обусловлена совокупностью следующих факторов.

1. Природно-климатические и инженерно-геологические условия. Каждый строительный участок имеет свои характеристики: тип грунта, глубину промерзания, уровень грунтовых вод, сейсмичность, рельеф, розу ветров, снеговую нагрузку и т. д. Эти параметры непосредственно влияют на конструктивные решения, выбор материалов и технологии производства работ. Даже для двух соседних участков инженерно-геологические условия могут существенно различаться, что делает невозможным «тиражирование» проектных решений без адаптации.

2. Архитектурно-планировочные и конструктивные решения. Каждый объект проектируется под конкретные функциональные требования заказчика. Даже в рамках типового проекта неизбежны изменения: другая планировка помещений, иные инженерные системы, нестандартные фасадные решения. Архитектурный облик здания, его этажность, конфигурация в плане, наличие подземных сооружений – все эти параметры индивидуальны.

3. Используемые материалы и оборудование. Рынок строительных материалов предлагает тысячи наименований продукции от различных производителей. Замена одного материала на другой (даже аналогичный по характеристикам) может потребовать корректировки проектных решений, изменения технологии производства работ, пересчёта сметной стоимости. Кроме того, логистика доставки материалов на удалённые объекты вносит уникальные особенности в каждый проект.

4. Квалификация и состав персонала. Строительные бригады, как правило, формируются на временной основе под конкретный объект. Уровень квалификации рабочих, производительность труда, опыт работы с

определёнными технологиями и материалами варьируются от проекта к проекту. Это создаёт дополнительные риски и требует индивидуального подхода к организации труда и контролю качества.

5. Требования заказчика и бюджетные ограничения. Каждый заказчик предъявляет свои требования к срокам, стоимости и качеству. Бюджет проекта может быть жёстко ограничен, что вынуждает искать компромиссные решения. Пожелания заказчика по изменению проектных решений в процессе строительства также являются источником уникальности и неопределённости.

6. Нормативно-правовые и разрешительные условия. В зависимости от категории объекта, его назначения и местоположения меняется перечень необходимых разрешительных документов, экспертиз и согласований [29]. Особые требования предъявляются к объектам культурного наследия, а также к обеспечению промышленной безопасности и соблюдению экологических ограничений.

7. Сезонность и погодные условия. Строительство в зимних условиях требует дополнительных мероприятий (прогрев бетона, утепление опалубки, зимние добавки), что увеличивает стоимость и продолжительность работ. Летние дожди могут приостановить земляные работы. Таким образом, календарный период выполнения работ также вносит уникальные особенности в каждый проект.

Строительная деятельность имеет как общие черты в разных странах, так и существенные различия, обусловленные экономическими, климатическими, нормативно-правовыми и культурными факторами.

Общие черты строительной деятельности в мире [20, 92, 110]:

- проектный характер деятельности и временная организация участников;
- высокая степень кооперации между проектировщиками, подрядчиками, субподрядчиками и поставщиками;
- значительная капиталоемкость и длительный инвестиционно-строительный цикл;

– необходимость строгого соблюдения строительных норм и правил, требований безопасности;

– высокие риски (финансовые, технические, правовые, репутационные);

– индивидуальный (единичный) характер производимой продукции.

Особенности строительной деятельности в России следующие.

1. Масштаб территории и климатическое разнообразие. Россия обладает самой большой территорией в мире, что создаёт уникальные вызовы: строительство в зоне вечной мерзлоты, в сейсмически опасных районах, в условиях сурового континентального климата. Логистика доставки материалов и техники на удалённые объекты (Крайний Север, Дальний Восток) многократно усложняет процессы и увеличивает стоимость [35].

2. Административные и разрешительные барьеры. Несмотря на реформы последних лет, строительная деятельность в России остаётся одной из наиболее зарегулированных. Получение разрешения на строительство, прохождение экспертизы, ввод объекта в эксплуатацию требуют значительных временных затрат и, зачастую, государственного строительного надзора [29].

3. Высокая доля государственного заказа и бюджетного финансирования. В России значительная часть строительных проектов реализуется за счёт средств федерального, региональных и местных бюджетов (национальные проекты, государственные программы). Это предъявляет особые требования к прозрачности закупочных процедур, отчётности и контролю целевого использования средств [59].

4. Сезонность строительных работ. В большинстве регионов России из-за климатических условий строительный сезон ограничен 6–8 месяцами. Зимний период требует применения специальных технологий (электропрогрев бетона, возведение тепляков), что увеличивает стоимость и продолжительность работ. Для отдельных видов работ, например наружных фасадных, отсутствует возможность ведения в зимний период. В странах с

тёплым климатом (ОАЭ, страны Юго-Восточной Азии) строительство ведётся круглогодично.

5. Кадровый дефицит и миграционные процессы. Строительная деятельность в России традиционно испытывает дефицит квалифицированных рабочих кадров (каменщики, арматурщики, бетонщики, сварщики, монтажники) [37, 51]. Восполнение дефицита происходит за счёт трудовых мигрантов из стран СНГ, что создаёт дополнительные риски, связанные с качеством работ, соблюдением техники безопасности и законодательства.

6. Зависимость от импорта строительных материалов и оборудования. Санкционные ограничения последних лет обострили проблему импортозамещения в строительной деятельности. Часть высокотехнологичного оборудования (лифты, системы автоматизации) ранее поставлялась из-за рубежа. Переход на отечественные аналоги требует адаптации проектных решений и технологий [6].

7. Цифровая трансформация и внедрение BIM-технологий. В России, как и в мире, активно внедряются технологии информационного моделирования зданий (BIM): с 2022 г. формирование информационной модели обязательно для объектов, финансируемых с привлечением бюджетных средств [60]. Однако уровень цифровизации строительной деятельности в России пока уступает лидерам (Великобритания, скандинавские страны, Сингапур), что связано с необходимостью адаптации нормативной базы и обучения специалистов [44, 84].

Уникальность каждого строительного объекта и индивидуальный характер строительного производства оказывают непосредственное влияние на подходы к управлению качеством и организации аутсорсинга [19, 20, 78].

Влияние на управление качеством:

- невозможность полной стандартизации конечного продукта. В отличие от завода, где выпускается однотипная продукция, в строительстве каждый объект имеет свои параметры качества, что затрудняет разработку единых шаблонов оценки;

– повышенная роль промежуточного контроля. Поскольку ошибки на ранних стадиях (фундамент, несущие конструкции) могут быть критическими и трудноустраняемыми, система контроля качества должна быть встроена в каждый этап строительного процесса [80];

– необходимость адаптации стандартов качества под каждый проект. Общие стандарты (например, ISO 9001 [27]) должны быть дополнены специфическими процедурами и чек-листами, учитывающими особенности конкретного объекта [19];

– высокая квалификация контролирующих органов. Оценка качества уникального объекта требует не только формальных процедур, но и экспертного знания, способности выявлять скрытые дефекты и риски.

Влияние на организацию аутсорсинга:

– невозможность типовых договоров на передачу работ: объём, состав и условия выполнения работ определяются проектом, поэтому контракт с подрядчиком каждый раз формируется заново [78];

– необходимость оценки подрядчика под конкретный проект, а не по повторяемым поставкам: значение имеют опыт аналогичных объектов, обеспеченность техникой и специалистами, наличие допусков к видам работ [11, 22];

– многоуровневый субподряд, при котором ответственность за результат перед заказчиком остаётся у генподрядчика, а фактическое качество определяется исполнителями второго и третьего уровней [76];

– зависимость от локального рынка исполнителей: на удалённых объектах выбор подрядчиков ограничен, что повышает риски и снижает возможности конкурентного отбора.

Перечисленные особенности определяют содержание параграфа 1.4, где рассматриваются подходы к организации аутсорсинга и оценке подрядчиков в строительстве.

1.2 Моделирование процессов строительной деятельности

Моделирование бизнес-процессов в строительной деятельности выступает ключевым инструментом для анализа, оптимизации и управления деятельностью организаций [74]. Оно даёт возможность наглядно представить, систематизировать и детально проработать сложные производственные цепочки, выявить проблемные участки, рационально распределить ресурсы и повысить общую результативность работы. Для построения результативных процессов в строительных компаниях необходимо применять обоснованные методы моделирования, которые позволяют не только описывать, но и критически оценивать и совершенствовать существующие регламенты. Выбор конкретной методологии определяется целями анализа, уровнем сложности процессов, имеющимися кадровыми и техническими ресурсами, квалификацией сотрудников, а также отраслевой спецификой. В научной литературе представлен ряд исследований, посвящённых использованию различных подходов к моделированию бизнес-процессов в строительных организациях [6, 9, 12, 36, 38, 44, 53, 57, 61, 68, 84, 90], однако их распределение по нотациям крайне неравномерно; при этом каждый из методов обладает собственными характеристиками, сильными сторонами и ограничениями.

Далее в работе представлен анализ наиболее популярных методов моделирования и опыт их применения в строительной деятельности.

1.2.1 IDEF0 (интегрированное определение для функционального моделирования)

IDEF0 – это стандартизированная методология функционального моделирования, используемая для формализации деятельности организаций [72]. В её основе – графическое представление процессов в виде прямоугольников-функций, каждая из которых преобразует входящие ресурсы (входы) в результаты (выходы) под действием управляющих условий

(сверху) и с помощью исполнительных механизмов (снизу). Такой подход чётко показывает взаимосвязи операций, необходимые ресурсы и регуляторы.

В строительной деятельности IDEF0 помогает системно описать типовые этапы: от разработки проектной документации и выбора подрядчиков до строительно-монтажных работ, приёмки и эксплуатации. Модель визуализирует взаимодействие подразделений, выявляет управляющие документы (стандарты, инструкции) и потребности в персонале, оборудовании, информации.

Ключевые преимущества: наглядная структура, облегчающая понимание цепочки функций; детализация ресурсов и ограничений для каждой задачи; возможность анализа модели с целью выявления резервов повышения результативности и оптимизации процедур.

На данный момент имеются немногочисленные научные работы, посвящённые именно моделированию процессов строительной организации с использованием IDEF0, в открытых академических базах (eLibrary, CyberLeninka, Springer, IEEE Xplore, ScienceDirect и др.), однако они приводят общие принципы построения бизнес-модели, а не управления качеством [6, 9, 61, 68, 84].

В [6] рассмотрена актуальная проблема повышения результативности управления в строительной деятельности, в частности в проектных организациях. Отмечено, что традиционные (функциональные) подходы к управлению не отвечают современным требованиям по гибкости, скорости реакции и качеству, и поставлен вопрос о необходимости адаптации инструментов бережливого производства и процессного управления (включая нотацию IDEF0) к специфике строительного проектирования. В условиях санкционных ограничений, кадрового дефицита и роста процентных ставок данное исследование имеет практическую значимость.

В [9] выявлены проблемы управления российскими строительными предприятиями, которые, по мнению автора работы [9], за последние десятилетия не претерпели значимых изменений и характеризуются

громоздкой структурой, размытыми зонами ответственности, замедленным принятием решений, отсутствием чёткого информационного обмена и низкой внутренней интеграцией, что снижает инвестиционную привлекательность и результативность производства. В качестве основного инструмента для решения этих проблем предлагается внедрение методологии IDEF-моделирования (в частности, IDEF0), которая позволяет детально описать все бизнес-процессы через функциональные блоки, входы, выходы, управляющие воздействия и механизмы, а с помощью декомпозиции даёт возможность разбить сложные операции на простые составляющие и выявить «белые пятна» в работе, как это показано на примере сметного отдела при формировании акта выполненных работ. Сделан вывод, что использование IDEF-моделирования способствует реинжинирингу процессов [86], упорядочению информационных потоков, чёткому распределению ответственности и улучшению управляемости, что в конечном итоге должно повысить конкурентоспособность строительных предприятий.

В [68] рассмотрена проблема формализации и повышения результативности управления бизнес-процессами в строительных организациях малого бизнеса, что обусловлено высокой степенью государственного регулирования и динамичностью нормативной базы в данной сфере деятельности. Применены процессный подход и методология IDEF0 для моделирования ключевых этапов предпроектного анализа и подготовки документации, что позволяет наглядно выявить типичные «узкие места», такие как отсутствие регулярного менеджмента, слабая формализация процедур и низкий уровень планирования. Работа содержит практический анализ деятельности реального предприятия, а представленные модели «как есть» и «как должно быть» демонстрируют потенциал оптимизации.

Работа [61] посвящена повышению результативности процессов в строительной деятельности через применение методологии функционального моделирования IDEF0 к жизненному циклу энергоэффективных зданий. Отмечено, что энергоэффективность является динамической характеристикой,

формирующейся на всех стадиях – от проектирования до эксплуатации, а существующая фрагментарность нормативного регулирования и разрывы между этапами жизненного цикла приводят к значительным потерям (до 30 % затрат на устранение ошибок). Выбор IDEF0 как инструмента, позволяющего представить процессы целостно, независимо от оперируемых объектов, соответствует логике процессного подхода. Представленная контекстная диаграмма верхнего уровня модели «как есть» (AS-IS) отражает существующую управленческую парадигму, при этом указан её недостаток – подмена управленческой функции заказчика нормативными документами. Исследование обладает научной новизной в части применения IDEF0 к управлению энергоэффективностью на макроуровне и может служить основой для дальнейших разработок в области организационно-методического обеспечения строительства энергоэффективных объектов.

В [84] рассмотрена проблема цифровой трансформации строительного комплекса во взаимосвязи с региональной инновационной системой. Использована нотация IDEF0 для моделирования верхнеуровневой схемы процессов, включающей формализацию целей, сбор и анализ статистических данных, определение регионов, готовых к цифровизации, и разработку мероприятий на микро- и мезоуровнях. Особое внимание уделяется декомпозиции процессов и интеграции BIM-технологий на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства, что позволяет повысить производительность труда и обосновать стратегические решения для устойчивого экономического роста регионов. Работа опирается на обширный список отечественных и зарубежных источников, выполнена в рамках гранта РНФ и имеет практическую значимость для управления строительной деятельностью в условиях цифровизации.

Методология IDEF0 обладает рядом ограничений, которые следует учитывать при её применении:

- статичность моделирования – нотация фиксирует процессы в статике, не позволяя отобразить их временную динамику, хронологию выполнения операций и последовательность событий;

- недостаточная детализация рабочих потоков – средства IDEF0 не рассчитаны на подробное описание движения материальных и информационных потоков, логики принятия решений, а также на обработку нештатных ситуаций и исключений в ходе выполнения процессов.

1.2.2 ARIS (архитектура интегрированных информационных систем)

ARIS – это методология и инструментальная среда для всестороннего моделирования бизнес-процессов, охватывающая не только функциональную сторону, но и организационную структуру, информационные потоки, системы контроля и показатели результативности [91]. В отличие от IDEF0, ARIS предлагает многомерный взгляд на деятельность предприятия, позволяя анализировать процессы в связке с подразделениями, исполнителями, данными и ИТ-системами.

В рамках ARIS часто применяется нотация EPC (цепочка процессов, управляемых событиями), где функции и события чередуются, образуя наглядную последовательность работ.

Применительно к строительству ARIS даёт возможность:

- детально описать не только операции, но и организационную иерархию, ответственных лиц и используемые данные;

- построить цепочки создания стоимости, выделив ключевые процессы, приносящие прибыль, и вспомогательные – для концентрации усилий на процессах, определяющих качество и сроки строительства;

- смоделировать ИТ-архитектуру (CRM, бухгалтерские системы и пр.), чтобы оптимизировать их взаимодействие и поддержку бизнес-процессов.

Научных работ, напрямую посвящённых моделированию процессов строительства с использованием ARIS, в открытых академических базах

(CyberLeninka, eLibrary, Springer, IEEE, ScienceDirect и др.) крайне мало – тема узкоспециализированная. Однако есть близкие работы [12, 38, 53].

В [38] рассмотрено моделирование бизнес-процессов строительной организации с применением методологии ARIS, подчеркнута значимость данного подхода для повышения результативности управления и минимизации рисков при реализации строительных проектов. Работа содержит чёткое определение бизнес-процесса, обзор существующих методологий и обоснование выбора ARIS как интегрального инструмента, позволяющего создавать наглядные и детализированные модели.

Методология ARIS имеет следующие ограничения:

- сложность и ресурсоёмкость: ARIS – это сложная методология, требующая значительных ресурсов для внедрения и поддержки, а также высокой квалификации персонала;
- избыточность для небольших предприятий: для индивидуальных предпринимателей и других структур малого бизнеса использование ARIS может быть избыточным, поскольку требует значительных затрат на лицензии и обучение персонала, а выгода от внедрения может быть незначительной.

1.2.3 UML (унифицированный язык моделирования)

UML – универсальный язык графического моделирования, применяемый не только в разработке программного обеспечения (ПО), но и для описания организационных потоков [10]. Он включает множество типов диаграмм, охватывающих статику (структура данных) и динамику (поведение и взаимодействия). Основные виды:

- диаграммы классов – для структуры данных и связей;
- диаграммы деятельности – для моделирования бизнес-процессов;
- диаграммы вариантов использования – для взаимодействия с внешними участниками;
- диаграммы последовательности – для хронологии обмена сообщениями.

При реализации строительных проектов UML применяют для:

- проектирования информационных систем (базы данных, CRM, системы заказов) с помощью диаграмм классов;
- описания динамики процессов (например, этапов приёмки работ, сдачи) через диаграммы деятельности;
- фиксации сценариев взаимодействия с клиентами и подрядчиками через диаграммы вариантов использования.

Научных работ, посвящённых моделированию бизнес-процессов строительных организаций с использованием UML, в открытых академических базах практически нет [90]. UML исторически ориентирован на моделирование программного обеспечения, а не бизнес-процессов (для которых чаще используют BPMN, IDEF0, EPC/ARIS). В бизнес-анализе UML применяется реже, хотя диаграммы деятельности (Activity Diagram) и Use Case могут использоваться для описания строительных процессов.

Работа [90] посвящена применению UML-моделирования для автоматизации бизнес-процессов снабжения и логистики при реализации строительных проектов. В качестве начального инструмента формализации требований выбрана диаграмма прецедентов, детально описаны предметная область, роли действующих лиц (прораб, отдел снабжения, отдел логистики) и их основные функции, что демонстрирует понимание специфики предприятия и позволяет перейти к следующему этапу проектирования информационной системы. Работа опирается на классические источники по UML, логично структурирована и обладает практической ценностью для разработки технического задания, а предложенный подход может быть полезен при создании аналогичных решений в управлении строительными проектами.

Методология UML имеет следующие ограничения:

- не является специализированным инструментом для моделирования бизнес-процессов: UML – это универсальный язык моделирования, который может быть избыточным и сложным для описания простых бизнес-процессов;

– ограниченная поддержка моделирования потоков работ: UML не имеет специальных конструкций для моделирования потоков работ, событий и правил, что делает его менее удобным для моделирования бизнес-процессов по сравнению со специализированными нотациями, такими как BPMN.

1.2.4 BPMN (нотация моделирования бизнес-процессов)

BPMN (Business Process Model and Notation) – международный стандарт моделирования бизнес-процессов, разработанный консорциумом OMG и принятый в качестве стандарта ISO/IEC 19510 [102], ориентированный исключительно на описание, анализ и регламентацию процессов. Его цель – единый язык для бизнес-аналитиков, руководителей и ИТ-специалистов.

Основные элементы нотации:

- события (круги) – начало, промежуточные состояния, завершение;
- задачи и подпроцессы (скруглённые прямоугольники) – конкретные действия; подпроцессы детализируются отдельно;
- шлюзы (ромбы) – ветвление, объединение, параллельное выполнение, выбор по условиям;
- потоки управления и сообщений (стрелки) – последовательность и обмен данными;
- пулы и дорожки – разграничение ответственности между участниками.

BPMN поддерживает три уровня детализации [105]:

- 1) описательный (концептуальный) – общая логика процесса для первичного ознакомления;
- 2) аналитический – детальный разбор, выявление узких мест, оптимизация, моделирование нестандартных сценариев;
- 3) исполняемый – строгое описание с условиями, временными параметрами, исключениями и интеграцией; пригоден для загрузки в BPMS и автоматизации.

В строительстве BPMN применяется для сквозного управления проектами – от смет и поставок до контроля договоров. Модели наглядно

показывают последовательность работ, зоны ответственности, точки решений и информационные потоки. Исполняемые модели интегрируются с BPMS и BIM, автоматизируя назначение задач, контроль сроков и синхронизацию данных. Существенно, что шлюзы и пулы BPMN позволяют явно моделировать альтернативу «выполнение собственными силами / передача подрядчику», то есть встраивать решения об аутсорсинге непосредственно в схему процесса.

В отечественной научной литературе применение BPMN в строительной деятельности пока не нашло отражения, особенно в вопросах управления качеством строительных процессов. За рубежом BPMN-карты строительных процессов публикуются с 2013 г. [109], а в смежных процессно-ориентированных отраслях (сервисное обслуживание техники) нотация активно применяется, в том числе как элемент стандартизации процессов [52, 54, 55]. Первые результаты применения BPMN к процессам строительной организации получены автором в [33].

Преимущества применения нотации BPMN в строительстве:

- стандартизация – фундаментальное преимущество, которое BPMN привносит в строительную деятельность. Строительная деятельность традиционно страдает от разрозненности подходов: каждый прораб, каждый отдел и даже каждый объект могут использовать собственные «неписанные» правила, что приводит к непредсказуемости результатов;

- гибкость и масштабируемость: BPMN позволяет моделировать процессы на разных уровнях детализации, что делает её подходящей для моделирования процессов любой сложности;

- прозрачность и управляемость – прямое следствие стандартизации. В строительстве, где проекты длятся месяцами и годами, а участников десятки, руководители часто теряют контроль над тем, что происходит на площадках и в отделах;

- широкая поддержка инструментов: существует множество инструментов моделирования, поддерживающих BPMN, как коммерческих, так и с открытым исходным кодом;

- улучшение коммуникации и сотрудничества. Строительный проект – это сложная экосистема взаимодействий: заказчики, проектировщики, подрядчики, субподрядчики, поставщики, надзорные органы. Информационные потоки между ними часто хаотичны, используют разные форматы и каналы, что ведёт к недопониманию, задержкам и дорогостоящим переделкам;

- возможность автоматизации: исполняемые модели обеспечивают прогнозируемость ресурсов и сроков, упрощение аудита и переход к управляемым повторяемым процессам.

Ограничения нотации BPMN:

- BPMN более гибкая, но менее формализованная, чем IDEF0, что может привести к разногласиям в интерпретации моделей;

- при моделировании очень сложных процессов, включающих большое количество участников, действий и правил, модели BPMN могут становиться громоздкими и сложными для понимания.

1.2.5 ЕРС (событийная цепочка процессов)

ЕРС (eЕРС) – графическая нотация, моделирующая бизнес-процессы как чередование событий и функций, связанных логическими операторами (И, ИЛИ, исключаящее ИЛИ) [57, 91]. В строительстве она применяется для стандартизации проектных работ, управления инвестиционными проектами, логистикой и согласованием разрешений.

Пример цепочки: «Договор подписан» → разработка проекта → «Проект согласован» → закупка и доставка материалов → «Материалы приняты» → монтаж → «Монтаж принят». Это даёт чёткую картину логистики, этапов и контрольных точек.

С помощью ЕРС анализируют влияние событий (ошибки, отсутствие материалов) на функции, а также выявляют и перепроектируют нерациональные последовательности.

Преимущества:

- наглядность всей логической цепочки, облегчающая восприятие;
- быстрое обнаружение отклонений и оценка их последствий;
- возможность интеграции с ERP-системами благодаря формализации логики, понятной аналитикам и разработчикам.

ЕРС являлась одной из ключевых нотаций, используемых в системе ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) в 2000–2010-х годах [91]. Хотя сегодня ЕРС постепенно вытесняется BPMN, она всё ещё встречается в научных и отраслевых исследованиях производителей строительных материалов и комплектующих, однако в контексте строительного процесса научных работ и статей по теме ЕРС в настоящее время практически нет.

Основные ограничения нотации ЕРС:

- сложность понимания и анализа: модели, построенные с использованием ЕРС, могут быть сложными для понимания и анализа, особенно для процессов с большим количеством событий и функций;
- ограниченные возможности моделирования сложных логических связей: ЕРС имеет ограниченные возможности моделирования сложных логических связей между событиями и функциями, что может ограничивать её применимость для моделирования комплексных процессов.

В таблице 1.2 приведено сравнение рассмотренных методик моделирования процессов.

Таблица 1.2 – Сравнение методик моделирования процессов

Методика	Преимущества	Недостатки	Применимость к строительным предприятиям
IDEF0	Строгая дисциплина описания. Позволяет чётко зафиксировать взаимодействие с субподрядчиками и органами надзора (входы, выходы, механизмы), передаваемые ресурсы (материалы, проектно-сметную документацию)	Не отражает сроки и логистику; не позволяет показать параллельную работу бригад и простой по внешним причинам. Громоздка на уровне исполнителей	Ограниченное применение: верхний уровень (стратегическое планирование), регламенты отдела снабжения. Для управления производством работ на площадке малоприспособна

Методика	Преимущества	Недостатки	Применимость к строительным предприятиям
ARIS (eEPC)	Комплексный охват: увязывает бизнес-процессы с корпоративной информационной системой (ERP) и кадрами. Подходит для стандартизации филиальной сети (типовые объекты)	Строительные процессы сильно зависят от внешних факторов, которые сложно формализовать в жёсткой логике ARIS. Высокие требования к квалификации ИТ-персонала	Подходит для холдингов с большим числом однотипных объектов (сетевое строительство), где важна жёсткая регламентация. Для уникальных объектов избыточна
UML	Строгая формализация логики; пригодна для описания ERP-систем и систем управления техникой (телематика)	Не воспринимается линейным персоналом (прорабы, начальники участков). Не предназначена для описания физического перемещения материалов и работы спецтехники	Инструмент ИТ-подразделения: проектирование цифровых систем компании (документооборот, CRM). Не описывает строительство как процесс
BPMN 2.0	Наглядна для линейного персонала (дорожки исполнителей); поддерживает таймеры (учёт задержек) и события-ошибки (брак, авария); допускает интеграцию с BIM-моделями для передачи данных о ходе работ	Низкая формализация допускает неоднозначную интерпретацию: разные проектировщики могут описать один и тот же процесс по-разному. Модели сложных объектов с тысячами операций трудночитаемы	Основной рабочий инструмент: моделирование цикла «от котлована до сдачи» на уровне участка; автоматизация контроля графиков (календарное планирование)
ЕРС	Наглядно показывает зависимости между этапами (последовательность операций); проста при аудите (легко найти узкое место)	Слабая логика событий: не обрабатывает прерывания (погода, отказ техники). Большие модели нечитаемы из-за обилия связей	Малые формы: небольшие объекты (коттеджное строительство) для описания последовательности операций. Уступает BPMN в гибкости при срыве сроков

Как следует из таблицы 1.2, каждая из рассмотренных методик имеет свою область применимости, а выбор определяется целями моделирования, сложностью процессов, доступными ресурсами и квалификацией персонала. Для предприятий, реализующих строительные проекты, при выборе нотации определяющими являются следующие особенности предметной области:

- проектный характер деятельности и длительный жизненный цикл объекта: процесс разворачивается во времени месяцами и годами, поэтому нотация должна отражать динамику, события и сроки;
- множество участников с разграниченной ответственностью – заказчик, проектировщик, генподрядчик, субподрядчики, поставщики, органы надзора, – взаимодействие которых должно быть явно представлено в модели;
- высокая вариативность: ход процесса зависит от типа объекта, наличия материалов, финансирования, рабочей силы, погодных условий, поэтому требуется моделирование альтернативных сценариев и исключений;

- высокая доля аутсорсинга: на каждом этапе возможна альтернатива «собственные силы / подрядчик», которая должна быть отражена в схеме процесса;

- обязательность контроля качества: приёмочный и промежуточный контроль, входной контроль материалов и работ подрядчиков должны быть встроены в модель, а не надстроены над ней;

- жёсткие требования к соблюдению сроков выполнения работ.

С учётом перечисленных особенностей BPMN представляется наиболее подходящей нотацией для моделирования процессов реализации строительных проектов [33, 102, 105]. Она позволяет наглядно визуализировать процессы, учитывать их вариативность и динамику, отражать альтернативу аутсорсинга через шлюзы и пулы, а также строить модели с разной степенью детализации. Модели BPMN могут быть использованы для разработки автоматизированных систем управления бизнес-процессами (BPMS), что способствует повышению результативности работы предприятия и качества выполняемых работ. Для результативного моделирования целесообразно применять инструменты, поддерживающие BPMN 2.0, которые дают возможность описывать сложные сценарии и обеспечивать интеграцию с другими информационными системами. Вместе с тем обзор показал ограниченное количество научных работ, посвящённых применению конкретных методологий моделирования для улучшения процессов именно в строительстве, что обуславливает необходимость разработки адаптированных моделей для этой сферы деятельности.

1.3 Системы оценки проектов и процессов в строительной деятельности

1.3.1 Методологические подходы к оценке проектов

Система оценки проекта в строительстве – это не разовое контрольное мероприятие (например, приёмка готового объекта), а комплексный непрерывный механизм, охватывающий все этапы жизненного цикла: от концепции и предпроектных проработок до ввода в эксплуатацию и даже

послегарантийного мониторинга [17, 20, 24]. Она позволяет выявлять отклонения от плана работы, оценивать результативность использования ресурсов, прогнозировать потенциальные угрозы и своевременно вносить корректировки. Выбор методов и инструментов зависит от множества факторов: задач проекта, специфики отрасли, доступных данных и даже корпоративной культуры.

В отличие от поверхностного контроля, данная система предполагает глубокий анализ четырёх ключевых аспектов, критически важных для строительства:

- результативность – насколько реализация объекта соответствует изначальным целям застройщика и технико-экономическим показателям;
- ресурсоёмкость – оптимальность использования бюджета, соблюдение графиков поставок материалов и рациональное распределение трудовых ресурсов (бригад, субподрядчиков);
- риски – выявление потенциальных угроз (геологические изменения, срывы поставок, погодные условия, изменение стоимости стройматериалов) и их влияние на сроки, стоимость и качество [25];
- качество – соответствие выполненных строительно-монтажных работ проектной документации, строительным нормам (СП, ГОСТ) и ожиданиям заказчика [23].

Главная задача такой системы – не просто зафиксировать отклонение (например, отставание от графика на определённый срок), а предоставить данные для оперативной корректировки: пересмотреть логистику, изменить методы монтажа или перераспределить задачи между участниками команды.

В строительстве, где проекты характеризуются высокой капиталоемкостью, длительными сроками и множеством зависимых подрядчиков, системная оценка выполняет следующие ключевые роли:

- минимизация рисков провала и финансовых потерь. Благодаря регулярному мониторингу (еженедельные/ежемесячные срезы) руководство

получает ранние сигналы о перерасходе бюджета или задержках. Это позволяет вовремя скорректировать план и избежать остановки строительства;

- превращение опыта в актив. Каждая реализованная задача (от заливки фундамента до фасадных работ) становится ценным уроком. Накопленные данные используются для нормирования будущих объектов, повышая точность смет и предсказуемость сроков;

- повышение точности и предсказуемости. Понимание принципов оценки всеми участниками (проектировщики, снабженцы, прорабы) помогает избегать типичных ошибок: например, хронические задержки на этапе земляных работ указывают на необходимость пересмотра методов планирования и распределения техники;

- адаптация к изменениям (Agile-подход). В современных реалиях строительства всё чаще применяются итеративные элементы: оценка позволяет гибко адаптировать процесс под меняющиеся условия (например, корректировка очередности возведения этажей при задержке поставки уникальных материалов).

Выбор инструментов зависит от масштаба объекта (высотное здание, мост, жилой комплекс) и стадии реализации [92].

Количественные методы:

- метод критического пути (CPM) и PERT-анализ – незаменимы для оптимизации календарных графиков строительства. Они выявляют критические работы (например, монтаж несущих конструкций), задержка которых срывает весь график, и помогают рассчитать вероятные сроки с учётом неопределённости (доставка бетона в дождливый сезон);

- анализ освоенного объёма (EVM) – активно применяется для сопоставления плановой и фактической стоимости выполненных объёмов. Например, позволяет увидеть, что потрачено 60 % бюджета, а физически выполнено только 40 % работ, сигнализируя о проблеме.

Качественные методы:

– SWOT-анализ – используется на предынвестиционной фазе для оценки сильных сторон подрядчика и внешних угроз (изменение градостроительного законодательства);

– метод экспертных оценок и сценарный анализ – привлекаются для прогнозирования влияния форс-мажоров (например, расчёт трёх вариантов развития событий при росте цен на арматуру).

Современные гибридные подходы:

– анализ на основе данных (data-driven) – внедряется с использованием BIM-моделей (информационное моделирование), где Big Data и машинное обучение прогнозируют будущие отклонения по стоимости и срокам на основе исторических данных со схожих объектов;

– система ключевых показателей (KPI) – позволяет оценивать проект по широкому набору показателей, характеризующих различные ключевые аспекты его реализации;

– сбалансированная система показателей (BSC) [40] – позволяет оценивать строительный проект комплексно на основе KPI не только по финансам, но и по качеству строительных процессов, уровню удовлетворённости дольщиков/заказчика и профессиональному развитию команды.

Многокритериальная оценка в строительстве является устоявшимся научным направлением: только по данным Web of Science за 2015–2017 гг. опубликованы десятки работ по применению методов многокритериального принятия решений к строительным проектам и технологиям [110]. Однако работ, рассматривающих оценку проекта в единстве с качеством выполнения процессов разного уровня, немного; в обобщённом виде (применительно к любой отрасли) таких работ достаточно.

Например, в [43] предлагается методика интегральной оценки эффективности инвестиционных проектов для промышленных предприятий, основанная на едином обобщённом показателе, который объединяет три группы критериев: влияние на производственно-хозяйственную деятельность

(фондоотдача, рыночная доля, производительность), на финансовое состояние (прирост прибыли, ликвидность, устойчивость) и на экономическую (коммерческую) эффективность (нормированные показатели внутренней нормы доходности (ВНД), чистого дисконтированного дохода (ЧДД), индекса доходности (ИД) и срока окупаемости). Для приведения разнородных показателей к сопоставимому виду используется нормирование, а весовые коэффициенты определяются методом анализа иерархий [77], что позволяет ранжировать значимость каждого фактора. Методика интегральной оценки, предложенная для промышленных предприятий, может быть адаптирована к строительной деятельности с заменой обобщённых показателей на отраслевые эквиваленты. Такой подход позволяет всесторонне оценить инвестиционный проект в строительстве, учитывая его специфику, и принимать обоснованные решения при выборе альтернатив. Но в данной работе, как и во многих других, практически никак не учитывается качество выполнения процессов разного уровня в рамках оцениваемых строительных проектов. Исключение составляет работа [4], в которой предложена комплексная оценка качества бизнес-процесса «Выполнение строительно-монтажных работ», однако она ограничена одним процессом и не связана с оценкой проекта в целом.

1.3.2 Методологические подходы к анализу процессов и оценке качества: опыт процессно-ориентированных отраслей

Существует достаточно много различных методических подходов в анализе и оценке производственных процессов, в частности в машиностроении или в сервисных процессах. Но фундаментальные проблемы управления качеством, анализа процессов и оценки рисков имеют универсальный характер. Поэтому они могут быть использованы и для строительного производства. В современных научных исследованиях, посвящённых процессно-ориентированным отраслям (в частности, в работах [42, 54, 55]), сформирован определённый методологический аппарат, который

может быть адаптирован для нужд строительной деятельности, характеризующейся уникальностью объектов и высокой долей аутсорсинга.

Методология анализа видов и последствий потенциальных отказов относится к инженерным методам управления качеством, сформировавшимся в машиностроении. Она нормирована ГОСТ Р 27.303-2021 (МЭК 60812:2018), ГОСТ Р 51814.2-2001, рекомендована к применению IATF 16949:2016 и отнесена ГОСТ Р 58771-2019 к базовым технологиям оценки риска. Эти методы реализуют требования ГОСТ Р ИСО 9001-2015 в части риск-ориентированного мышления (п. 6.1), управления несоответствующими результатами процессов (п. 8.7), мониторинга и анализа (п. 9.1) и постоянного улучшения (п. 10.3). Именно инженерные методы оценки рисков и результативности процессов, а не методы информационного моделирования и управления жизненным циклом объектов строительства (специальность 2.1.14), составляют инструментальную основу настоящей работы.

Показатели, использованные в разработанной модели, относятся к практике управления качеством и надёжностью, традиционной для машиностроения: результативность процесса как основная характеристика; рискоустойчивость, определяемая через вероятность безотказной работы процесса; коэффициент дефектности, представляющий собой аналог показателя ppm ; интенсивность отказов в гарантийный период как аналог интенсивности отказов λ ; достоверность планирования по стоимости и трудозатратам; уровень соблюдения технологической дисциплины, измеряемый числом нарушений на 100 нормо-часов; стабильность кадрового состава исполнителей. Показатели сроков и результативности использования ресурсов дополняют этот перечень и обеспечивают полноту оценки процесса.

Комплексный анализ процессов и управление рисками

Анализ научной литературы показывает, что изолированная оценка отдельных этапов не обеспечивает должного уровня управляемости. Результативное управление требует применения многовекторного анализа процессов, включающего:

1) анализ временных характеристик – выявление «узких мест» и критического пути, что в строительстве трансформируется в методы календарного планирования и контроля сроков (CPM, PERT);

2) анализ затрат – контроль себестоимости этапов и оптимизация ресурсного обеспечения;

3) анализ рисков методом FMEA – метод анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA), изначально разработанный для промышленности [14, 96], обладает высоким потенциалом для превентивного выявления рисков в любых сложных процессах. В контексте строительства адаптация FMEA позволяет сместить фокус с реактивного устранения дефектов на проактивное управление рисками на этапах выбора подрядчика, планирования и производства работ.

Системы KPI и сбалансированная оценка результативности

Переход от интуитивного управления к системному требует внедрения систем ключевых показателей (KPI) [40, 70]. Исследования в области оценки качества сложных процессов демонстрируют, что традиционные финансовые и календарные метрики не отражают полной картины. Необходима интеграция операционных показателей (качество выполнения работ, соответствие нормативам) и клиентоориентированных метрик. Для строительных организаций это означает, что оценка результативности проекта или деятельности генподрядчика не может ограничиваться только соблюдением сметы и графика; она должна включать показатели технической надёжности, безопасности и удовлетворённости заказчика.

Важно отметить, что при построении обобщённой модели оценки проектов на основе KPI существует множество нюансов, касающихся способов интеграции единичных показателей в комплексные. Так, в [82, 107] проведён сравнительный анализ двух методов свёртки критериев – аддитивного (взвешенная сумма) и мультипликативного (взвешенное произведение) – применительно к интегральной оценке проектов. На основе четырёхфакторной модели (качество, сроки, экономика, надёжность)

выполнено моделирование для трёх сценариев: сбалансированные проекты, проекты с одним слабым звеном и компенсирующие проекты. Выявлено, что в сбалансированных случаях оба подхода дают схожие результаты, однако при наличии критического провала по одному из критериев аддитивная модель позволяет скрыто компенсировать низкий показатель за счёт высоких значений других, тогда как мультипликативная модель жёстко реагирует на любое отклонение, сигнализируя о недопустимости компромисса. Для строительной деятельности, где безопасность, надёжность и качество являются критическими и не подлежат компенсации за счёт соблюдения сроков или экономии бюджета, мультипликативная свёртка признана более адекватным инструментом. Она реализует принцип «слабого звена», что соответствует логике последовательных систем, где отказ любого элемента ведёт к отказу всей конструкции. Предложен также гибридный подход для сложных случаев, но основная рекомендация – в регулируемых и высокорисковых отраслях предпочтение следует отдавать мультипликативной модели, а выбор метода должен определяться не техническим удобством, а содержательной природой проекта и допустимостью компенсаций.

Строительный проект представляет собой сложную последовательную систему, где отказ любого элемента – будь то технологическая операция, поставка материала или управленческое решение – способен привести к срыву сроков, перерасходу бюджета и снижению качества объекта. Поэтому интегральная оценка не может ограничиваться ни одним изолированным методом и должна строиться на многокритериальной основе, сочетающей количественные методы (анализ освоенного объёма, метод критического пути) с экспертными оценками (FMEA, SWOT, сценарный анализ), а для свёртки частных критериев в интегральный показатель, как показано в [82, 107], предпочтительна мультипликативная модель. Эти положения реализованы в главе 2 при построении математической модели интегральной оценки результативности процесса реализации строительного проекта [49, 73].

Квалиметрические методы и экспертные оценки

Специфика строительства, заключающаяся в единичном характере производства и высокой неопределённости, делает невозможным использование исключительно инструментальных методов измерения качества. В этой связи особый интерес представляют квалитетические методы, позволяющие перевести субъективные экспертные суждения в объективные количественные метрики [3]. Применение балльных методов, метода анализа иерархий (МАИ) [77] и экспертных чек-листов является научно обоснованным подходом для:

- оценки уникальных архитектурно-планировочных и функциональных качеств объекта;
- комплексного рейтингования подрядчиков и поставщиков при выборе стратегии аутсорсинга;
- формирования интегральных показателей качества, учитывающих весовые коэффициенты значимости различных критериев (сроки, стоимость, надёжность, безопасность).

Оценка удовлетворённости потребителей

В условиях высокой конкуренции удовлетворённость потребителя (в строительстве – заказчика, инвестора или конечного пользователя) становится ключевым фактором выживания и роста [41, 103]. Адаптация таких инструментов, как индекс потребительской лояльности (NPS) и индекс удовлетворённости (CSAT), для B2B-сегмента строительства позволяет оценивать не только факт сдачи объекта по акту КС-2/КС-3, но и качество коммуникации, прозрачность смет, гибкость при внесении изменений и постгарантийное обслуживание. Это формирует основу для долгосрочного партнёрства и повторных подрядов.

Таким образом, обобщая опыт применения процессного моделирования (в частности, нотации BPMN), методов риск-ориентированного анализа (FMEA) и квалитетической оценки в смежных отраслях [42, 52, 54, 55, 62, 63, 64, 66], можно сделать вывод о необходимости создания для строительной деятельности сквозной математической модели *интегральной оценки*. Такая

модель должна объединять в себе технические, временные, ресурсные и рисковые аспекты, компенсируя недостатки изолированного контроля и обеспечивая объективное ранжирование как самих строительных проектов, так и привлекаемых к аутсорсингу подрядчиков. Именно этот подход положен в основу разработанных в данной диссертации инструментов управления качеством.

1.4 Аутсорсинг в строительстве и системы оценки подрядчиков и поставщиков

Строительная деятельность характеризуется широким привлечением подрядчиков для выполнения различных работ [11, 76, 78]. Поэтому существует острая необходимость в контроле за их деятельностью по всем аспектам, включая сроки и качество выполненных работ. Рассмотрим подробнее этот аспект строительных проектов.

1.4.1 Аутсорсинг в строительстве: различные подходы и трактовки

Термин «аутсорсинг» (от англ. *outsourcing* – external resource sourcing) получил широкое распространение в конце XX века в связи с ростом специализации компаний и стремлением к снижению издержек [87]. В наиболее общем виде под аутсорсингом понимается передача организацией определённых бизнес-процессов или производственных функций на выполнение стороннему подрядчику, обладающему необходимой компетенцией, ресурсами и инфраструктурой [5, 7].

В научной литературе существуют различные подходы к определению аутсорсинга, что обусловлено многогранностью данного явления и его отраслевой спецификой. Систематизация подходов представлена в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Подходы к определению аутсорсинга в научной литературе

Автор(ы)	Определение	Ключевой аспект
Дж. Б. Хейвуд [87]	Перевод внутреннего подразделения предприятия и всех связанных с ним активов в организацию поставщика услуг, предлагающего оказывать некую	Передача активов, срочность, цена

Автор(ы)	Определение	Ключевой аспект
	услугу в течение определённого времени по оговорённой цене	
Б. А. Аникин, И. Л. Рудая [5]	Аутсорсинг – это передача стороннему подрядчику некоторых бизнес-функций или частей бизнес-процесса компании на долгосрочной основе с целью повышения результативности деятельности	Долгосрочный характер, результативность
Ж.-Л. Бравар, Р. Морган [7]	Организационное решение, заключающееся в передаче третьей стороне управления некоторыми из внутренних видов деятельности и связанных с ними ресурсов	Передача управления и ресурсов
А. Х. Курбанов [45]	Стратегическая модель использования внешних ресурсов для выполнения отдельных задач, не являющихся профильными для компании	Стратегический характер, непрофильность
А. А. Гайдаенко, О. В. Гайдаенко [13]	Форма взаимодействия, при которой функции заказчика выполняются силами специализированного провайдера на основе долгосрочного договора	Договорная основа, специализация
Л. Б. Нюренбергер [58]	Инструмент повышения конкурентоспособности за счёт концентрации на ключевых компетенциях и использования внешних ресурсов	Конкурентоспособность, ключевые компетенции

Анализ приведённых определений позволяет выделить сущностные признаки аутсорсинга:

- передача функций – заказчик передаёт выполнение определённых задач (как правило, вспомогательных или непрофильных) внешнему исполнителю;

- долгосрочный характер – аутсорсинговые отношения предполагают устойчивую кооперацию, а не разовое оказание услуг;

- наличие договорной основы – взаимодействие сторон регламентируется контрактом, в котором фиксируются объёмы, сроки, качество и ответственность;

- ориентация на повышение результативности – основным мотивом аутсорсинга является оптимизация затрат, рост производительности и концентрация на ключевых компетенциях;

- передача управления и рисков – подрядчик принимает на себя не только выполнение функций, но и управление соответствующими ресурсами, а также часть операционных рисков.

Важно отметить, что аутсорсинг следует отличать от смежных понятий: субподряда (как правило, разовый и связанный с пиковыми нагрузками), кооперации (равноправное сотрудничество без передачи управления) и

аутстаффинга (предоставление работников без передачи процесса) [78].

Принципиальные различия приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Отличия аутсорсинга от смежных форм взаимодействия

Признак	Аутсорсинг	Субподряд	Кооперация	Аутстаффинг
Длительность отношений	Долгосрочная (годы)	Чаще краткосрочная	Долгосрочная	Среднесрочная
Передача управления процессом	Полная или частичная	Нет	Равноправное распределение	Нет
Передача ответственности за результат	Да	Частично	Разделена	Нет
Интеграция в бизнес-процессы заказчика	Глубокая	Поверхностная	Взаимная	Отсутствует
Типичный объект	Бизнес-процесс	Отдельная работа/объём	Проект	Функция/персонал

Таким образом, аутсорсинг представляет собой сложную многомерную категорию, которая в рамках настоящего диссертационного исследования понимается как стратегически мотивированная передача на договорной основе непрофильных бизнес-процессов или функций внешнему специализированному исполнителю, обладающему необходимыми компетенциями и ресурсами, с целью повышения результативности основной деятельности заказчика. Далее исполнитель по договору аутсорсинга именуется подрядчиком (при передаче работ) или поставщиком (при поставке материалов и изделий).

1.4.2 Преимущества и недостатки аутсорсинга для предприятий

Решение о переходе на аутсорсинг должно приниматься на основе взвешенного анализа его преимуществ и потенциальных рисков. Обобщение результатов исследований [5, 7, 13, 45, 58, 87, 88] позволяет систематизировать ключевые преимущества и недостатки аутсорсинга (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Преимущества и недостатки аутсорсинга

Группа	Преимущества	Недостатки / риски
Экономические	Снижение операционных затрат (на 15–30 % по данным [88]). Превращение постоянных затрат в переменные. Отсутствие инвестиций в непрофильные активы. Экономия на масштабе у подрядчика	Скрытые транзакционные издержки (поиск, контроль). Риск роста цен при продлении контракта. Затраты на переходный период
Управленческие	Концентрация на ключевых компетенциях. Повышение гибкости и адаптивности. Снижение управленческой нагрузки. Доступ к лучшим практикам и технологиям	Потеря контроля над процессом. Сложность координации удалённых команд. Риск утечки конфиденциальной информации
Кадровые	Снижение численности персонала. Отсутствие проблем с наймом и обучением по	Соппротивление персонала и снижение морального духа. Потеря внутренних

Группа	Преимущества	Недостатки / риски
	непрофильным функциям. Возможность быстрого масштабирования без найма	компетенций. Риск увольнения ключевых сотрудников
Качественные	Доступ к специализированным знаниям и оборудованию. Повышение качества за счёт специализации подрядчика. Наличие у подрядчика сертификата ISO 9001, членства в СРО, допусков к видам работ	Риск снижения качества при жёсткой экономии подрядчика. Сложность контроля качества на удалении. Ответственность перед конечным клиентом остаётся у заказчика
Рисковые	Разделение рисков с подрядчиком. Возможность быстрого прекращения отношений при неудовлетворительном качестве	Риск банкротства или ухода подрядчика с рынка. Операционные риски сбоев и простоев. Репутационные риски при сбоях подрядчика

Особого внимания заслуживают следующие аспекты.

Экономический эффект аутсорсинга. По данным исследований [5, 88], снижение операционных затрат при передаче непрофильных функций на аутсорсинг составляет в среднем 15–30 % за счёт экономии на масштабе у специализированного подрядчика, отсутствия необходимости инвестировать в оборудование, обучение и сертификацию, оптимизации численности управленческого персонала. Однако при расчёте экономического эффекта необходимо учитывать транзакционные издержки: затраты на поиск и выбор подрядчика (0,5–2 % от контракта), юридическое сопровождение, внедрение системы контроля, управление переходным периодом.

Стратегические преимущества. По мнению Ж.-Л. Бравара и Р. Моргана [7], ключевым преимуществом аутсорсинга является возможность концентрации на «стратегических» видах деятельности, формирующих устойчивое конкурентное преимущество. Непрофильные функции, даже если они выполняются результативно, отвлекают ресурсы высшего руководства и не создают добавленной стоимости для конечного потребителя.

Риски и способы их минимизации. На основе анализа [13, 58, 89] могут быть предложены следующие способы минимизации основных рисков аутсорсинга:

- потеря контроля → внедрение системы ключевых показателей (KPI) и регулярной отчётности подрядчика, проведение совместных аудитов;
- рост цен → фиксация ценовых условий на весь срок контракта с механизмом индексации;

- утечка информации → подписание соглашений о конфиденциальности, разграничение доступа к информационным системам;
- низкий уровень качества → включение в контракт штрафных санкций за несоответствие, создание «зеркальных» резервных мощностей на стороне заказчика;
- уход подрядчика → диверсификация портфеля подрядчиков, создание плана действий в чрезвычайных ситуациях.

Таким образом, решение о применении аутсорсинга должно приниматься на основе тщательного анализа соотношения «преимущества – риски» с учётом отраслевой специфики, стратегических целей предприятия и зрелости рынка аутсорсинговых услуг в регионе [31, 32].

1.4.3 Системы оценки подрядчиков и поставщиков при реализации строительных проектов

Система оценки поставщиков – это комплексный процесс и инструментарий для выбора, мониторинга и развития партнёров по цепочке поставок [99]. Её цель – не просто найти самого дешёвого поставщика, а минимизировать риски, обеспечить стабильное качество и надёжность, а также повысить результативность закупочной деятельности. Оценка опирается на ключевые показатели (KPI), которые группируются по нескольким измерениям: качество (дефектность, сертификаты), логистика (OTIF – доля своевременных и полных поставок, сроки), цена и совокупные затраты владения, сервис (скорость реакции), финансовая устойчивость, а также, всё чаще, экологические и социальные аспекты (ESG) [101]. Для результативного управления всех поставщиков предварительно сегментируют, например по матрице Кралича (влияние / сложность замены) или по ABC-методу (доля в закупках), чтобы применять дифференцированный контроль: от партнёрских отношений для стратегических до минимального надзора для некритичных.

Процесс оценки включает несколько этапов: первичную аккредитацию (юридическая, финансовая и техническая проверка перед допуском к тендерам), затем регулярный мониторинг исполнения контрактов с расчётом рейтингов и последующую классификацию (например, A/B/C) с обратной связью и планами улучшений. Для вычисления интегрального рейтинга применяются методы от простого взвешенного суммирования (где эксперты назначают веса критериям) до более сложных многокритериальных моделей, таких как метод анализа иерархий (МАИ; определение весов через попарные сравнения) [77] и TOPSIS (выбор поставщика, наиболее близкого к идеалу) [99]. В сложных случаях используют нечёткую логику и гибридные подходы, позволяющие обрабатывать неопределённость и сочетать количественные и качественные данные.

Современные системы оценки всё активнее интегрируют ESG-критерии (экология, социальная ответственность, управление) – особенно в крупных компаниях и госсекторе, где это становится обязательным требованием [101]. Для автоматизации применяются SRM-решения (управление взаимоотношениями с поставщиками), которые централизуют данные, автоматизируют расчёт KPI, выявляют риски с помощью искусственного интеллекта (ИИ) и обеспечивают сквозную аналитику. Ключевая рекомендация: оценка должна быть не карательной, а развивающей – помогать ключевым партнёрам расти, а не только отсеивать ненадёжных. Система должна быть динамичной, адаптируемой под стратегию бизнеса и регулярно пересматриваемой, чтобы сохранять актуальность в меняющихся рыночных условиях.

При выборе подрядчиков (исполнителей работ или услуг) действуют те же базовые принципы, что и при оценке поставщиков: обязательная аккредитация (проверка юридической чистоты, финансовой состоятельности, наличия допусков СРО), сегментация по степени важности и риску, а также регулярный мониторинг исполнения обязательств по KPI. В обоих случаях используют взвешенные рейтинги, многокритериальные методы (МАИ,

TOPSIS) и классификацию (A/B/C), а итоговая цель едина – выбрать надёжного партнёра, минимизировать сбои и оптимизировать совокупные затраты. Более того, многие корпорации применяют единую SRM-платформу и для поставщиков, и для подрядчиков, унифицируя процессы аккредитации, документооборота и ценообразования.

Однако подходы существенно различаются из-за природы контрактов. У поставщиков упор делается на повторяемость поставок – ключевыми становятся логистические метрики (OTIF, сроки, объёмы) и стабильность качества продукции. У подрядчиков же каждый проект уникален, поэтому на первый план выходят опыт выполнения аналогичных работ, квалификация и наличие ключевых специалистов, обеспеченность техникой и материалами, а также управление графиками и субподрядчиками [98]. Для строительных организаций эти критерии закреплены нормативно: ГОСТ Р 66.1.03-2016 [22] устанавливает модель оценки опыта и деловой репутации строительных подрядчиков для целей закупок. Метод выбора смещается в сторону конкурсных процедур с отдельной оценкой технического предложения (качество, методология, сроки) и коммерческого предложения, где технический вес часто выше ценового. Кроме того, для подрядчиков критичны гарантийные обязательства, страхование рисков, соблюдение правил охраны труда и промышленной безопасности – эти параметры могут перевесить даже более низкую цену. В итоге, если для поставщиков оценка носит преимущественно регулярный, количественный характер, то для подрядчиков она становится проектно-ориентированной, качественно-экспертной, с акцентом на компетенции и управленческие способности, а не на повторяемость показателей.

В научных изданиях достаточно много работ посвящено оценке поставщиков [99], в том числе и в строительной деятельности [8, 79, 83, 89].

В [79] предлагается методика оценки поставщиков строительных материалов, направленная на сокращение сроков строительства за счёт минимизации рисков срывов поставок. На примере возведения фундамента 9–

18-этажного панельного дома серии ПИК-1 рассчитаны возможные организационные ожидания (задержки поставок свай, бетона, гидроизоляции, раствора и арматурных каркасов) и показано, что при случайном наступлении сбоев продолжительность работ может вырасти с 14 до 27 дней, а грамотный выбор поставщика по предложенной методике позволяет сократить этот срок на 13 рабочих дней. Сама методика включает первичный отбор кандидатов по наличию сертификатов качества и положительных отзывов, балльно-рейтинговую оценку по нескольким критериям (нормативная база, характеристики продукции, условия транспортировки, сроки и партии поставок, документы о качестве, квалификация сотрудников), ранжирование поставщиков по каждому критерию и формирование реестра-матрицы для принятия решения о заключении договора. Подчёркнуто, что разработка универсальна и применима для большинства строительных организаций независимо от типа объекта, используемых материалов и выполняемых работ.

В [8] предложена методика выбора подрядной организации при проведении торгов на строительство, в которой качественные показатели участников переводятся в количественные оценки на основе принципов субъектно-ориентированного управления; в [83] – многофакторная методика оценки надёжности аутсорсинговой компании. Обе работы ограничиваются этапом выбора и не рассматривают последующий мониторинг качества выполнения работ подрядчиком.

Отдельно стоит отметить подходы, применяемые в машиностроении, например [46]. В этой работе рассматривается управление качеством работы поставщиков комплектующих изделий и материалов у автопроизводителя на основе балльных оценок, причём все поставщики делятся на две группы: имеющие конкурентов и монополисты. Для первой группы предлагается экономико-математический механизм, в котором сборочное подразделение, решая задачу минимизации совокупных затрат (цена закупки плюс затраты на устранение дефектов, зависящие от интегральной балльной оценки несоответствий), распределяет объём заказа между альтернативными

поставщиками; при этом поставщики с лучшим соотношением цены и качества получают больший заказ, что служит естественным стимулом к улучшению работы без дополнительных финансовых затрат. Для поставщиков-монополистов предложен иной механизм: цена комплектующих корректируется в зависимости от изменения интегральной оценки несоответствий – если поставщик снижает эту оценку (повышает качество), цена увеличивается, а если качество падает, цена снижается, что напрямую связывает прибыль монополиста с качеством его работы. Такой подход позволяет предприятию взаимодействовать с поставщиками с максимальной результативностью, однако данный механизм достаточно сложен и трудозатратен в реализации для строительных организаций, особенно сектора малого и среднего бизнеса.

Проведённый анализ существующих систем оценки подрядчиков и поставщиков в строительной деятельности показывает, что, учитывая высокую зависимость результатов проекта от действий подрядчиков и поставщиков, система оценки проекта должна дополняться механизмами их аккредитации и рейтингования (с использованием взвешенных сумм, МАИ или TOPSIS), адаптированными под проектную уникальность строительных контрактов – с акцентом на квалификацию персонала, наличие техники, соблюдение охраны труда и гарантийные обязательства. Такая система оценки подрядчиков при аутсорсинге в процессах реализации строительных проектов разработана автором и представлена в главе 2 [50, 104].

1.5 Систематизация проблем управления качеством при реализации строительных проектов

Управление качеством в строительной деятельности представляет собой комплексную задачу, обусловленную высокой степенью технологической сложности, многоэтапностью производственных процессов и значительным влиянием внешних факторов. В стратегической перспективе развития национального хозяйства создание комфортной и безопасной среды для жизни

населения является одной из значимых национальных целей. Однако, несмотря на наличие разработанных теоретико-методологических подходов, проблемы обеспечения качества в строительстве остаются в центре внимания исследователей и практиков [44, 48, 67].

Системный анализ проблем управления качеством требует их классификации по ряду оснований: по источнику возникновения, по характеру проявления, по уровню управления, на котором они возникают. В настоящей главе представлена систематизация проблем на основе анализа научной литературы и практических данных. Общая карта выявленных проблем и их следствий приведена на рисунке 1.1.

Проблемы управления качеством целесообразно рассматривать в двухуровневой системе. Верхний уровень образуют управленческие несоответствия организационного процесса реализации проектов: несвоевременное выполнение операций, пропуск обязательных действий, ошибки в планировании и документации, отсутствие контроля. Нижний уровень образуют несоответствия технологических процессов: отклонения от технологии производства работ, дефекты конструкций и материалов, нарушения требований безопасности. Оба уровня анализируются единым инструментарием – методологией FMEA, но по разным шкалам и с разной периодичностью: организационный процесс оценивается один раз в год, и его оценка едина для всех проектов периода, технологические процессы оцениваются по каждому проекту с использованием типовых чек-листов. Такое разделение соответствует логике управления несоответствующими результатами процессов, установленной ГОСТ Р ИСО 9001-2015.

В строительных организациях наблюдается отсутствие типовых, масштабируемых процессных моделей, которые охватывали бы полный жизненный цикл объекта (от инициации до эксплуатации) и содержали бы встроенные, а не надстроечные механизмы контроля качества [44]. Существующие регламенты либо носят чрезмерно общий, декларативный

характер, либо, напротив, гипердетализированы под конкретный объект и невоспроизводимы на других проектах.



Рисунок 1.1 – Систематизация проблем управления качеством при реализации строительных проектов

Отсутствие унифицированного процессного подхода ведёт к тому, что управление качеством сводится к разрозненным инспекциям, а не к системному обеспечению соответствия на всех этапах [48].

Кроме того, слабо развита преемственность знаний между проектами: накопленный опыт допущенных ошибок и успешных решений не формализуется в виде корректирующих процедур, что вынуждает на каждом новом объекте заново решать уже решённые задачи.

Одной из наиболее острых проблем является недостаточная прозрачность и объективность при выборе подрядчиков и поставщиков. Тендерные процедуры в подавляющем большинстве случаев ориентированы на минимизацию стоимости контракта [59], при этом квалификационные критерии (наличие системы менеджмента качества, квалификация персонала, техническая оснащённость, стабильность процессов) либо формально декларируются, либо не имеют количественной оценки.

Это ведёт к систематическому снижению качества входных ресурсов – материалов, конструкций, а также труда субподрядных организаций [47]. Проблема усугубляется высокой долей посредников, что удлиняет логистические цепочки и увеличивает риски поставок некондиционной продукции. Механизмы входного контроля часто являются формальными и не интегрированы в общую систему управления качеством [19].

В строительной деятельности исторически сложилось понимание качества исключительно как соответствия нормативным документам (СП, ГОСТ) [80]. Однако современная парадигма качества включает также удовлетворённость заказчика, функциональность объекта, эстетические характеристики, комфорт эксплуатации и своевременность ввода в эксплуатацию [2, 26, 103].

На практике наблюдается слабая клиентоориентированность строительных организаций: отсутствуют механизмы сбора и анализа обратной связи от заказчика на всех этапах реализации проекта. Критическим недостатком является отсутствие количественных показателей результативности процессов, позволяющих объективно измерить степень удовлетворённости заказчиков [70]. Большинство применяемых КРІ носят финансовый характер (соблюдение бюджета) или календарный (соблюдение сроков), но не отражают техническое качество исполнения и сервисную составляющую.

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – это систематический, проактивный метод оценки рисков, предназначенный для выявления потенциальных отказов в продуктах, процессах или системах до того, как они произойдут [14, 96, 106]. Разработанный в военной сфере США в 1940-х годах, сегодня этот метод является обязательным элементом систем менеджмента качества в автомобилестроении (IATF 16949 [100]), аэрокосмической и оборонной промышленности (AS9100). Основная философия FMEA заключается в том, что предотвратить дефект на этапе проектирования или

разработки процесса в сотни раз дешевле, чем исправлять его последствия у конечного потребителя.

Классические методы управления рисками качества, в частности FMEA, разработанные для серийных производств (автомобилестроение, авиастроение), практически не адаптированы к процессам реализации строительных проектов. Их механическое перенесение на строительные процессы наталкивается на следующие препятствия [65, 93]:

- высокая вариативность внешних условий делает прогнозирование видов и последствий отказов крайне затруднительным;
- субъективность экспертных оценок при расчёте приоритетного числа риска (ПЧР) снижает достоверность результатов;
- отсутствие статистической базы по отказам для уникальных объектов не позволяет применять классические вероятностные модели.

Это приводит к тому, что предупреждение отказов и сбоев подменяется реактивным управлением – устранением уже возникших дефектов, что ведёт к неоправданным затратам.

В отечественной научной литературе прямого применения методологии FMEA в строительстве практически нет – в основном FMEA применяют производители строительных материалов и комплектующих. В зарубежной литературе, напротив, применение FMEA к рискам строительных проектов исследуется с 2010 г., причём проблема субъективности оценок решается переходом к нечётким шкалам [93].

Так, работа [56] посвящена анализу и управлению производственными рисками на примере ООО «Мостовик» – производителя бетона и железобетонных изделий. Применён метод FMEA для идентификации и количественной оценки рисков на всех стадиях производства с расчётом ПЧР и суммарного риска по каждой стадии, что позволило выявить наиболее критичную стадию – заливку бетонной конструкции.

Инструменты и методы менеджмента качества, широко применяемые в промышленности [85], в строительных организациях используются

фрагментарно. Существенной проблемой строительной деятельности является острый кадровый дефицит и снижение уровня квалификации рабочего персонала и линейного управленческого звена [37, 51]. В этих условиях даже формально правильно разработанные процедуры контроля качества не реализуются на практике из-за низкой исполнительской дисциплины и недостаточной компетенции. Отсутствие системы мотивации персонала за качество выполненных работ (премирование за бездефектность, депремирование за рекламации) также снижает результативность управления.

1.6 Выводы по главе

По результатам проведённого обзора и критического анализа научных работ в области проектирования, моделирования процессов и управления качеством процессов строительной деятельности, а также с учётом опыта процессно-ориентированных отраслей, могут быть сформулированы следующие обобщающие положения.

1. Установлено, что строительная деятельность характеризуется сущностными особенностями, отличающими её от серийного производства: индивидуальный характер продукции, высокая вариативность исходных данных, рассредоточенный характер работ и зависимость от внешних факторов. Анализ существующих методологий (IDEF0, ARIS, UML, EPC) показал их ограниченность в условиях высокой неопределённости и необходимости учёта альтернативных путей выполнения работ (аутсорсинга). Наиболее адекватным инструментальным средством признаётся нотация BPMN 2.0, обладающая необходимой гибкостью, поддерживающая динамическое событийное моделирование, позволяющая через шлюзы и пулы отражать альтернативу «собственные силы / подрядчик» и встраивать элементы контроля качества непосредственно в тело бизнес-процесса.

2. Анализ научных работ в смежных процессно-ориентированных отраслях демонстрирует, что фундаментальные инструменты управления качеством – такие как многовекторный анализ процессов, сбалансированные

системы KPI, квалитетрические методы и методология FMEA – обладают высоким адаптационным потенциалом. Однако их механическое перенесение на процессы реализации строительных проектов невозможно. Требуется глубокая адаптация данных методов к условиям единичного строительства и высокой доли аутсорсинга, что обуславливает необходимость разработки специализированных строительных чек-листов, шкал значимости рисков и систем экспертных оценок.

3. Проведённый анализ систем оценки проектов показал недостаточность изолированного контроля сроков или бюджета. Обоснована необходимость применения мультипликативной свёртки критериев при формировании интегрального показателя результативности. В отличие от аддитивных моделей, мультипликативная модель реализует принцип «слабого звена», не позволяя скрыть критические провалы в управлении рисками или качестве работ за счёт перевыполнения финансовых показателей, что критически важно для безопасности и надёжности строительных объектов.

4. Систематизация подходов к аутсорсингу выявила, что доминирование ценового критерия (в том числе в рамках госзакупок) ведёт к демпингу и систематическому снижению качества входных ресурсов. Существующие методы оценки подрядчиков носят преимущественно финансово-юридический характер и не учитывают техническую компетентность, рискоустойчивость и историю качества. В связи с этим система оценки подрядчиков должна быть дополнена механизмами квалитетрического рейтингования и интеграцией с системой риск-менеджмента.

5. Резюмируя выявленные проблемы, можно констатировать, что в строительной деятельности отсутствует:

- обобщённая структурно-функциональная модель жизненного цикла проекта со встроенными контурами управления качеством и альтернативами аутсорсинга;

- математическая модель интегральной оценки, объединяющая технические, временные, ресурсные и рискованные аспекты на основе мультипликативного принципа;
- адаптированная к специфике единичного строительства методология FMEA-анализа (как для организационных, так и для технологических процессов);
- комплексная система оценки подрядчиков, основанная на многокритериальном квалитетрическом подходе.

Таким образом, проведенный анализ подтверждает актуальность и необходимость разработки комплексного инструментария управления качеством, который объединит процессное моделирование в нотации BPMN, адаптацию методов риск-ориентированного анализа (FMEA) из смежных отраслей и математический аппарат мультипликативной интегральной оценки. Указанные задачи решаются методами управления качеством, стандартизации и организации производства – процессным моделированием, оценкой результативности процессов и риск-ориентированным управлением несоответствиями, – что определяет принадлежность работы к специальности 2.5.22.

1.7 Цель и задачи диссертационного исследования

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.

Обобщённая постановка задачи может быть представлена в виде триады «исходное состояние – цель – способ достижения». Исходное состояние: процессы строительной деятельности промышленного предприятия, результат которых оценивается преимущественно бинарно – «соответствует / не соответствует» проектной документации, сводам правил и стандартам; количественной оценки результативности процесса при этом не формируется. Цель: интегральный количественный показатель результативности процесса и инструменты его повышения. Способ достижения: построение

многоуровневой процессной модели в нотации BPMN; разработка системы показателей (показателей качества, показателей оценки риска, сквозного показателя выполнения сроков, показателей результативности использования ресурсов, показатели оценки подрядчиков); нормирование показателей в диапазон $[0; 1]$ и мультипликативная свёртка; адаптирование методологии FMEA с введением показателя рисконасыщенности; проведение апробации на реальных проектах со статистической проверкой, анализом чувствительности и логарифмической декомпозицией прироста; разработка методика повышения результативности в полной и упрощённой версиях.

2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ

2.1 Построение многоуровневой процессной модели деятельности строительной организации в нотации BPMN

Моделирование бизнес-процессов является необходимым инструментом для анализа, оптимизации и управления деятельностью строительной организации. Строительная деятельность характеризуется высокой степенью кооперации, длительным циклом реализации проектов, значительным количеством участников (заказчик, генеральный подрядчик, субподрядчики, поставщики, проектные организации), а также необходимостью строгого соблюдения нормативных требований и стандартов безопасности [20, 35, 80].

Выбор нотации BPMN 2.0 [102] для описания процессов строительной организации обоснован в п. 1.2. Для задач настоящей главы существенны три её свойства: поддержка нескольких уровней детализации [105] – от укрупнённой модели верхнего уровня для стратегического управления до диаграмм второго и третьего уровней для операционного управления; шлюзы, позволяющие отобразить параллельные потоки (например, экономический, технический и юридический анализ) и альтернативные ветвления, в первую очередь выбор между выполнением работ собственными силами и аутсорсингом; пулы и дорожки, разграничивающие зоны ответственности участников (заказчик, технический, экономический, юридический отделы, отдел качества, подрядчик). Кроме того, модели BPMN могут быть использованы для последующей автоматизации процессов в системах управления бизнес-процессами (BPMS) и поддерживаются широким кругом инструментальных средств.

2.1.1 Структурная модель процесса реализации строительного проекта (верхний уровень)

На основе анализа деятельности строительных организаций [35, 80] и обобщения практики применения аутсорсинга при реализации строительных проектов [11, 78] разработана обобщённая структурно-функциональная модель процесса реализации строительного проекта (рисунок 2.1) [33, 71]. Модель охватывает полный жизненный цикл: от планирования работ до завершения цикла и внедрения улучшений.

На верхнем уровне (рисунок 2.1) модель включает семь основных этапов, а также дополнительный этап 7*, отражающий внедрение корректирующих действий подрядчиком (аутсорсером):

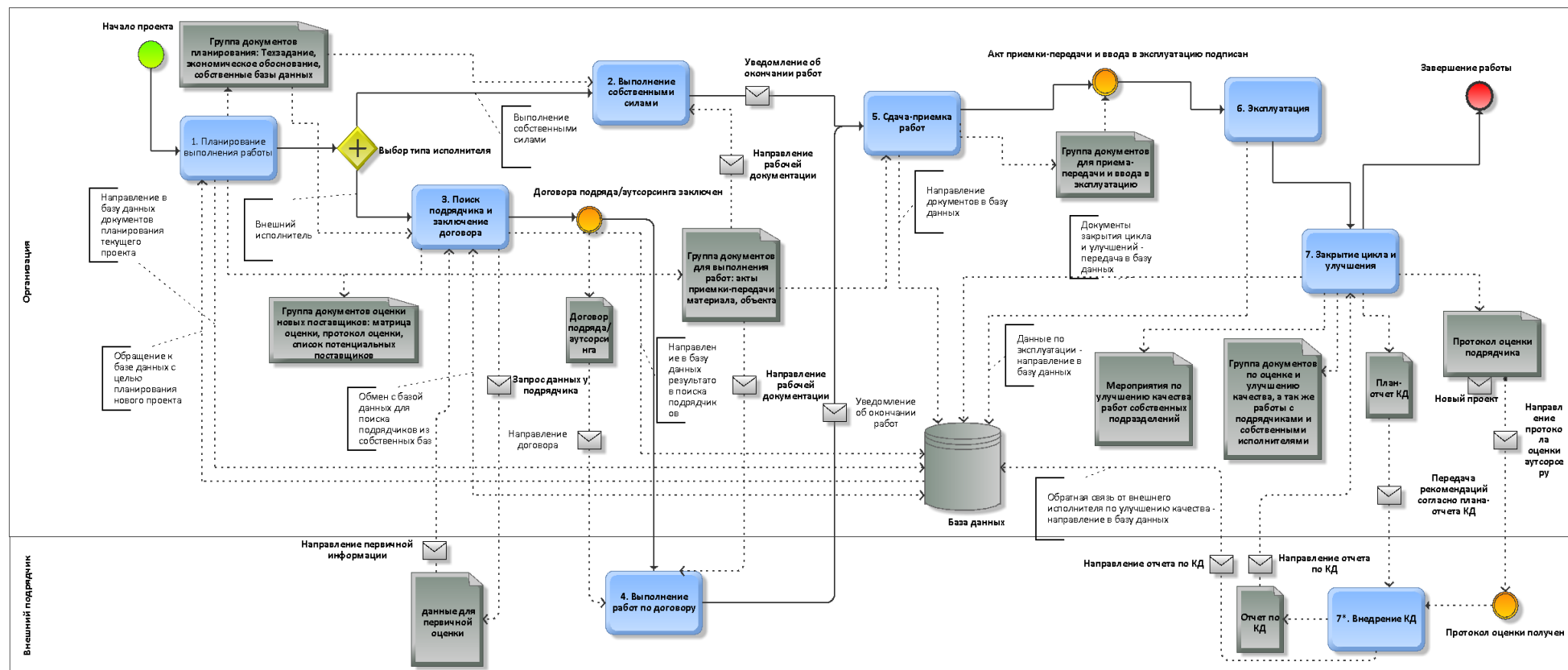
1. Планирование выполнения работы – разработка технического задания, экономическое и техническое обоснование, анализ юридических рисков, принятие решения об исполнителе (собственные силы либо внешний подрядчик).

2. Выполнение работ собственными силами – организация выполнения строительно-монтажных и иных работ силами собственных подразделений строительной организации.

3. Поиск подрядчика и заключение договора – анализ рынка и собственной базы подрядчиков, комплексная оценка кандидатов, проведение переговоров, заключение договора подряда или аутсорсинга.

4. Выполнение работ по договору – выполнение строительных, монтажных, сервисных или иных работ внешним подрядчиком в соответствии с заключённым договором.

5. Сдача-приёмка работ – организация приёмочной комиссии, оценка выполненных работ экономическим, юридическим отделами и отделом качества, подписание акта приёма-передачи или направление на устранение недостатков.



6. Эксплуатация – эксплуатация построенного (отремонтированного) объекта или результатов выполненных работ, периодические осмотры, регламентные работы, устранение недостатков в гарантийный период.

7. Завершение цикла и улучшения – сбор и анализ всех данных по проекту (производственных, экономических, юридических, закупочных, контрольных, эксплуатационных), оценка работы подрядчика, разработка и внедрение корректирующих действий для собственных подразделений и для подрядчика.

7*. Внедрение корректирующих действий подрядчиком – самостоятельный этап, отражающий выполнение корректирующих действий со стороны подрядчика на основе плана-отчёта корректирующих действий (КД), полученного от заказчика.

Важной особенностью модели является наличие шлюза выбора исполнителя после этапа планирования, который направляет процесс либо к этапу 2 (собственные силы), либо к этапу 3 (поиск подрядчика). Данное ветвление отражает ключевое управленческое решение: выполнять работы собственными ресурсами или передать их на аутсорсинг [78, 87].

Для каждого этапа верхнего уровня модели определены входы (документы и информация, необходимые для запуска этапа), выходы (результаты выполнения этапа), задействованные ресурсы (люди, оборудование, программное обеспечение, производственная среда) и нормативно-управляющая документация [74].

Входы и выходы верхнего уровня модели приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Входы и выходы верхнего уровня модели

Входы	Название этапа	Выходы
Поступившая задача на выполнение работы; данные из базы данных организации; техническая документация; собственные базы данных исполнителей	Процесс реализации строительного проекта	Акт выполненных работ (при выполнении собственными силами); подписанный акт приёма-передачи (при выполнении подрядчиком); подписанный договор подряда/аутсорсинга; эксплуатационные данные; план-отчёт корректирующих действий; корректирующие действия, внедрённые аутсорсером

Ресурсы верхнего уровня модели представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Ресурсы верхнего уровня модели

Вид ресурса	Перечень ресурсов
Люди	Руководитель (директор), руководитель технического отдела, экономический отдел, юридический отдел, отдел закупок, отдел качества, служба эксплуатации, инженер по пожарной безопасности, производственно-технический отдел (ПТО), инженер по технике безопасности, начальник участка, аутсорсер (подрядчик)
Оборудование и программное обеспечение	Компьютеры с офисным программным обеспечением, локальная сеть с выходом в интернет, специализированное ПО для управления проектами (CRM, ERP), системы электронного документооборота, базы данных нормативов и расценок
Производственная среда	Оборудованные рабочие места для сотрудников, площадки для выполнения строительно-монтажных работ, склады для хранения материалов, средства связи

Нормативная и управляющая документация верхнего уровня модели: техническое задание (ТЗ); экономическое обоснование; договор подряда/аутсорсинга; акт приёма-передачи объекта; акт приёма-передачи материалов; уведомление об окончании работ; акт о выявленных недостатках; формы КС-2, КС-3; акт ввода в эксплуатацию; эксплуатационные данные; план-отчёт КД; протокол оценки подрядчика; мероприятия по улучшению качества работ собственных подразделений; направление подрядчику плана-отчёта КД; отчёт по КД подрядчика.

Основные действия участников строительного проекта приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Основные действия участников строительного проекта

№ п/п	Участник	Основные действия	Этапы процедуры
1	Руководитель (директор)	Принятие решения об исполнителе, утверждение технического задания, подписание договора, утверждение актов, анализ результатов проекта	1, 3, 5, 7
2	Технический отдел	Разработка технического задания, техническое обоснование, промежуточный контроль, приёмка работ	1, 2, 4, 5
3	Экономический отдел	Экономическое обоснование, анализ коммерческих предложений, оценка смет, формирование протокола оценки подрядчика	1, 3, 5, 7
4	Юридический отдел	Анализ юридических рисков, проверка договоров, юридическая квалификация недостатков	1, 3, 5, 6
5	Отдел закупок	Закупка материалов, анализ базы подрядчиков, проведение тендерных процедур	2, 3
6	Отдел качества	Проверка соответствия работ требованиям, формирование актов промежуточного контроля, участие в приёмке	2, 4, 5
7	Служба эксплуатации	Периодические осмотры, регламентные работы, выявление недостатков в гарантийный период	6
8	Аутсорсер (подрядчик)	Выполнение работ по договору, устранение недостатков, внедрение корректирующих действий	4, 5, 7*

2.1.2 Модели второго уровня для этапов процесса

На втором уровне детализации процессная модель раскрывает каждый из семи этапов жизненного цикла строительного проекта, последовательно реализующих полный управленческий цикл – от обоснования решения до постпроектного анализа и корректирующих мероприятий. Ниже приведена сжатая содержательная характеристика этапов 2–7 и 7*; их диаграммы второго уровня, перечни входов, выходов, ключевых документов, шлюзов и ресурсов вынесены в Приложение 1. Этап 1 рассмотрен подробно в п. 2.1.3, поскольку именно в нём формируется базовое решение о способе выполнения работ, определяющее последующие показатели качества, ресурсные потребности и конфигурацию контрольно-оценочных процедур.

Этап 2 «Выполнение работ собственными силами» активируется при принятии решения о выполнении работ силами самой строительной организации, без привлечения внешних подрядчиков. Он включает подготовку плана с распределением задач, проведение инструктажей по пожарной, промышленной безопасности и технике безопасности, оформление разрешения на начало работ, обеспечение материалами (проверка остатков на складе, при необходимости – закупка у сторонних поставщиков), непосредственно производство работ, промежуточный контроль со стороны отдела качества или технического надзора, а также завершение с оформлением уведомления о готовности к сдаче. На втором уровне присутствуют шлюзы «наличие материалов на складе» и «наличие замечаний при промежуточном контроле».

Этап 3 «Поиск подрядчика и заключение договора» активируется при решении привлечь внешнего исполнителя. Данный этап является ключевым для управления качеством аутсорсинга, поскольку от правильности выбора подрядчика зависят сроки, стоимость и качество выполнения работ [47]. Он предполагает параллельный анализ собственной базы подрядчиков и внешнего рынка, формирование объединённого списка кандидатов, проведение комплексной балльной оценки (п. 2.2), направление запросов

коммерческих предложений, организацию предварительных и уточняющих встреч, а затем – многопрофильный анализ отобранных кандидатов силами экономического, юридического, технического отделов и отдела качества. На основе сводного заключения принимается решение о допуске к переговорам на уровне директоров, после чего заключается договор подряда или аутсорсинга. При отрицательном решении процесс возвращается к повторному поиску с учётом замечаний. Шлюзы второго уровня: «прохождение предварительного фильтра», «положительное решение руководителя».

Этап 4 «Выполнение работ по договору» стартует с получения подписанного договора и включает получение разрешительной документации подрядчиком, передачу номенклатуры материалов, обеспечение материалами (из наличия или через закупку), непосредственное выполнение работ, промежуточный контроль со стороны заказчика и завершение с оформлением уведомления об окончании работ. Шлюз второго уровня: «наличие материалов у исполнителя».

Этап 5 «Сдача-приёмка работ» организуется независимо от типа исполнителя. Формируется приёмочная комиссия, после чего параллельно работают экономический отдел (проверка смет и фактических затрат), юридический отдел (соблюдение договорных условий) и отдел качества (соответствие строительным нормам и стандартам [80]). При получении положительных заключений всех трёх отделов подписывается акт приёма-передачи и ввода в эксплуатацию. При выявлении замечаний составляется акт о недостатках, направляемый исполнителю (собственными силами или подрядчику); после устранения процедура оценки повторяется циклически до полного одобрения. Шлюз второго уровня: «наличие замечаний от отделов».

Этап 6 «Эксплуатация» начинается после подписания акта приёма-передачи и ввода объекта в эксплуатацию. В гарантийный период проводятся периодические осмотры объекта и плановые регламентные работы; выявленные недостатки направляются либо в технический отдел для

устранения собственными силами, либо подрядчику в рамках гарантийных обязательств. После устранения и приёмки выполненных ремонтов все эксплуатационные данные (акты осмотров, регламентных работ, устранения дефектов) заносятся в базу данных для последующего использования. Шлюзы второго уровня: «наличие недостатков при периодическом осмотре», «тип исполнителя (собственные силы/подрядчик)» при юридической работе с недостатком.

Этап 7 «Завершение цикла и улучшения» является заключительным этапом модели, обеспечивающим постоянное улучшение процессов на основе анализа накопленных данных по проекту [27]. Он инициируется по окончании сбора всех проектных и эксплуатационных материалов. Параллельно по семи направлениям (техническому, экономическому, юридическому, закупочному, контролю качества, эксплуатационному и по работе подрядчика) формируются списки выявленных недостатков. На основе обобщённых данных по подрядчику составляется итоговый протокол оценки, одновременно разрабатываются корректирующие мероприятия для собственных подразделений и план-отчёт КД для подрядчика. Реализация этих мероприятий – как внутренними силами, так и внешним исполнителем – завершается обновлением корпоративной базы данных и переходом к новому проекту с учётом полученного опыта.

Этап 7* «Внедрение корректирующих действий подрядчиком» является дополнительным этапом, отражающим выполнение корректирующих действий со стороны подрядчика на основе плана-отчёта КД, полученного от заказчика. Данный этап вынесен отдельно, поскольку выполняется внешней организацией и не контролируется напрямую заказчиком. Его входом является направление заказчиком плана-отчёта КД подрядчику, выходом – завершение цикла (возврат в исходное состояние для начала нового проекта с учётом внесённых улучшений), ключевым документом – отчёт по корректирующим действиям подрядчика.

Таким образом, разработанная многоуровневая процессная модель деятельности строительной организации в нотации BPMN охватывает все этапы реализации строительного проекта – от планирования до завершения цикла и улучшений – и отражает альтернативные пути выполнения работ (собственными силами или с привлечением подрядчика). Модель служит основой для последующей разработки системы оценки подрядчиков (п. 2.2), системы показателей оценки качества и математической модели комплексной оценки (п. 2.3).

2.1.3 Детализация этапа 1 «Планирование выполнения работы»

Этап 1 «Планирование выполнения работы» является стартовым этапом процесса реализации строительного проекта. Начальным событием этапа является поступление задачи на выполнение работы. Процесс планирования включает три параллельных потока анализа (экономический, технический, юридический), результаты которых консолидируются при разработке концепции работы и технического задания. Финальным действием этапа является принятие решения об исполнителе на основе экономического обоснования [78, 87]. На рисунке 2.2 представлена модель второго уровня для этапа 1.

Входы этапа 1: поступившая задача, данные из базы данных организации, техническая документация, нормативные сметные показатели.

Выходы этапа 1: шлюз выбора исполнителя (направление к этапу 2 «Выполнение работ собственными силами» или к этапу 3 «Поиск подрядчика и заключение договора»).

Ключевые документы этапа 1: техническое задание, экономическое обоснование, собственные базы данных исполнителей.

Шлюзы этапа 1: выбор исполнителя (внешний исполнитель либо собственные силы).

Событие процесса: принятие решения о том, какими ресурсами выполнять работу.

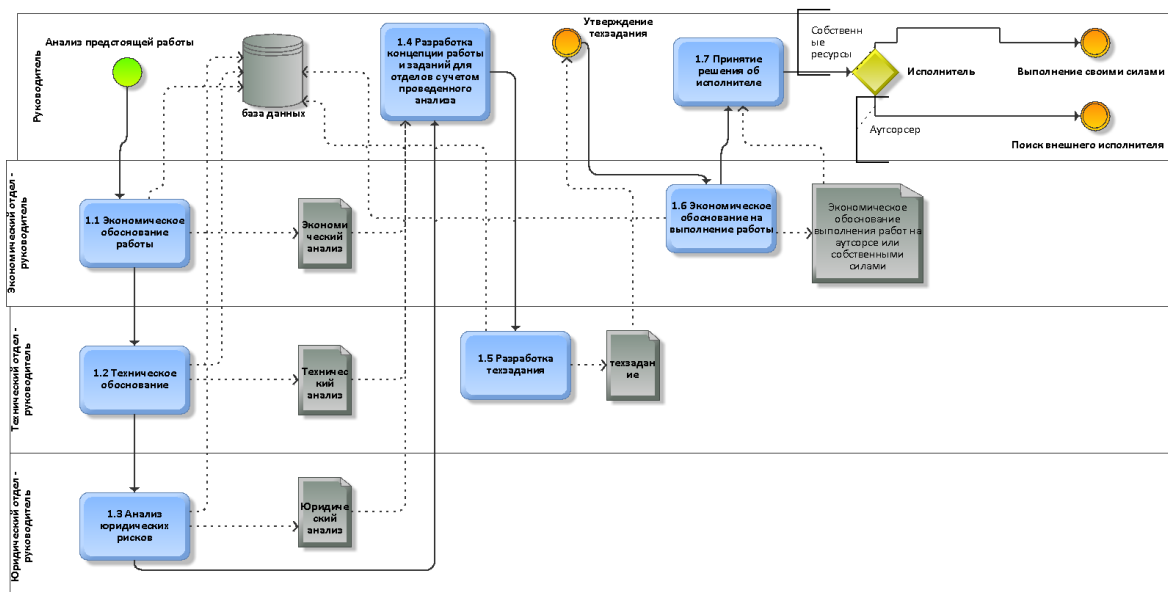


Рисунок 2.2 – Второй уровень процесса для этапа 1 «Планирование выполнения работы»

Детализация данного этапа необходима для последующей разработки математической модели оценки и системы показателей качества. В его составе выделяются семь подэтапов. На первом из них, выполняемом экономическим отделом, производится экономическое обоснование: рассчитывается сметная стоимость, оцениваются затраты на материалы и трудовые ресурсы, выполняется сравнительный анализ рентабельности собственного исполнения и аутсорсинга [5, 32]. Параллельно технический отдел проводит техническое обоснование, проверяя наличие необходимого оборудования, уровень квалификации персонала, производственные мощности и технологическую сложность предстоящих работ. Одновременно юридический отдел осуществляет анализ юридических рисков, включающий проверку лицензий и допусков СРО, оценку возможных претензий контролирующих органов и рисков при привлечении субподрядчиков [29, 89]. Результаты трёх указанных анализов поступают к руководителю или ответственному лицу, которое на их основе разрабатывает общую концепцию выполнения работы и формирует задания для профильных подразделений. Далее следует разработка технического задания, которое становится основой для уточнённого

экономического расчёта стоимости выполнения работ с использованием данных из корпоративной базы о стоимости ресурсов и трудозатратах. Финальным подэтапом является принятие решения об исполнителе: руководитель на основании полученного экономического обоснования выбирает один из двух вариантов – выполнение собственными силами (переход к этапу 2) либо привлечение внешнего подрядчика (переход к этапу 3). Шлюз выбора завершает процесс планирования и передаёт управление соответствующему этапу первого уровня.

Ресурсное обеспечение этапа 1 включает руководителя, экономический, технический и юридический отделы, а также компьютеры с офисным и специализированным сметным программным обеспечением, базы нормативов и доступ к корпоративной сети.

По аналогичной схеме (диаграмма второго уровня, входы, выходы, ключевые документы, шлюзы, ресурсы) описаны этапы 2–7 и 7* – см. Приложение 1.

2.2 Разработка системы оценки подрядчиков (поставщиков) при аутсорсинге в процессах реализации строительных проектов

В условиях роста конкуренции и сложности строительных проектов выбор надёжных поставщиков и подрядчиков становится критически важным для обеспечения стабильности и качества цепочек поставок [99]. Аутсорсинг работ требует прозрачной и объективной системы оценки, учитывающей качество, сроки, безопасность и другие аспекты. Существующие методы часто фокусируются на ограниченном наборе критериев, что снижает их результативность [8, 79, 83].

С введением электронных аукционов в государственных закупках (Федеральный закон № 94-ФЗ, с 2014 г. – № 44-ФЗ [59]) ключевым фактором выбора исполнителя стала цена контракта: начальная (максимальная) цена может быть уменьшена, но не может быть увеличена. Это привело к массовому демпингу: многие недобросовестные поставщики снижают цену контракта

иногда до 50 % от начальной, что ниже себестоимости выполнения работ. Это неизбежно ведёт организацию к операционным убыткам, невыполнению обязательств, нарушению сроков и, в конечном итоге, к банкротству [47].

Таким образом, возникает острая необходимость в комплексной, объективной и многокритериальной системе оценки подрядчиков (поставщиков) при аутсорсинге в процессах реализации строительных проектов, которая учитывает не только цену, но и качество, надёжность, безопасность, финансовую дисциплину и перспективность сотрудничества [22, 98].

2.2.1 Структура системы оценки: категории, показатели и метрики

Предлагаемая система оценки подрядчиков (поставщиков) при аутсорсинге в процессах реализации строительных проектов [50, 104] построена по иерархическому принципу и включает три уровня:

- первый уровень (категории) – семь ключевых категорий, всесторонне характеризующих деятельность подрядчика: качество материалов и работ; соблюдение сроков; организация взаимодействия; безопасность и экология; финансовая дисциплина; лояльность и партнёрство; перспективность;
- второй уровень (показатели) – в каждой категории выделено по три показателя (всего 21 показатель);
- третий уровень (метрики) – конкретные исходные данные (количественные и качественные) для расчёта показателей.

Выбранные категории учитывают требования ГОСТов, СП, стандарта ISO 9001 [19, 27], а также сложившийся в мировой практике набор критериев отбора подрядчиков [98] и оценки поставщиков [99, 101].

Перечень категорий, показателей, исходных данных, нормативов и методик сбора данных представлен во фрагменте таблицы 2.4. Полная таблица представлена в Приложении 2.

Таблица 2.4 – Категории, показатели и метрики оценки подрядчиков при аутсорсинге в процессах реализации строительных проектов (фрагмент)

Наименование категории	Наименование показателя	Условное обозначение	Формула показателя	Формула категории	Исходные данные	Норматив	Методика сбора данных
...	...	...	...	...	...	...	...
2. Соблюдение сроков	2.1. Выполнение графика поставок материалов	$P_{2.1}$	$P_{2.1} = \frac{A}{P} \cdot 100$	$B_2 = 0,5 \cdot P_{2.1} + 0,2 \cdot P_{2.2} + 0,3 \cdot P_{2.3}$	A – фактический срок; P – плановый срок	Отклонение $\leq 5\%$	ВМ-система, графики работ. Ежедневно. Ответственный: отдел логистики
	2.2. Ритмичность поставок (отклонение $\pm 5\%$ от плана)	$P_{2.2}$	$P_{2.2} = 100 - \frac{A - P}{P} \cdot 100$			≥ 80 баллов	Отчёты о поставках. Ежемесячно. Ответственный: менеджер проекта
	2.3. Своевременность завершения этапов	$P_{2.3}$	Экспертная оценка из ВМ-системы (0–100 баллов)			≤ 100 баллов	ВМ-отчёты, акты завершения этапов. Ежемесячно. Ответственный: прораб
3. Организация взаимодействия	3.1. Наличие сопроводительной документации (сертификаты, паспорта, акты, проекты)	$P_{3.1}$	$P_{3.1} = \frac{F}{T} \cdot 100$	$B_3 = 0,4 \cdot P_{3.1} + 0,4 \cdot P_{3.2} + 0,2 \cdot P_{3.3}$	F – количество партий со всеми необходимыми документами; T – общее количество партий; E – фактическое время устранения дефектов; N – нормативное время устранения дефектов	100 %	Архив документов. Ежемесячно. Ответственный: делопроизводитель
	3.2. Оперативность реагирования на претензии (среднее время устранения дефектов)	$P_{3.2}$	$P_{3.2} = 100 - \frac{E}{N} \cdot 100$			≤ 7 дней	Журнал претензий. Ежемесячно. Ответственный: отдел закупок
	3.3. Гибкость условий контракта	$P_{3.3}$	Экспертная оценка (0–100 баллов); анализ изменений в проекте			≤ 70 баллов	Переписка с поставщиком. Ежеквартально. Ответственный: юридический отдел
...	...	...	...	...	...	...	...

2.2.2 Алгоритм расчёта интегральной оценки подрядчика

Интегральная оценка подрядчика рассчитывается в три этапа [50, 104].

Этап 1. Расчёт показателей по каждой категории. Для каждого показателя $P_{i,j}$ рассчитывается его значение по формулам, приведённым в таблице 2.4 (полностью – в Приложении 2). Затем в пределах каждой категории i вычисляется интегральный показатель категории B_i по формуле взвешенной суммы:

$$B_i = \sum_{j=1}^M w_{ij} \cdot P_{i,j}, \quad (2.1)$$

где B_i – интегральный показатель по i -й категории (0–100 баллов); $P_{i,j}$ – j -й показатель в i -й категории (0–100); w_{ij} – вес j -го показателя в i -й категории ($\sum_{j=1}^M w_{ij} = 1$); $M = 3$ – количество показателей в категории.

Этап 2. Расчёт общей интегральной оценки подрядчика. Общая интегральная оценка подрядчика B рассчитывается как взвешенная сумма интегральных оценок по всем семи категориям [97]:

$$B = \sum_{i=1}^N W_i \cdot B_i = \sum_{i=1}^N \left(W_i \cdot \sum_{j=1}^M w_{ij} \cdot P_{i,j} \right), \quad (2.2)$$

где B – общая интегральная оценка подрядчика (0–100 баллов); W_i – вес i -й категории ($\sum_{i=1}^N W_i = 1$); $N = 7$ – количество категорий.

Рекомендуемые веса категорий установлены экспертным путём (например, методом анализа иерархий [77]) на основе анализа приоритетов строительных организаций: качество материалов и работ – 0,25; соблюдение сроков – 0,20; организация взаимодействия – 0,15; безопасность и экология – 0,10; финансовая дисциплина – 0,12; лояльность и партнёрство – 0,08; перспективность – 0,10. Контрольная сумма: $0,25 + 0,20 + 0,15 + 0,10 + 0,12 + 0,08 + 0,10 = 1,00$.

Этап 3. Присвоение рейтинговой оценки и определение мер реагирования. На основе полученной интегральной оценки *B* подрядчику присваивается рейтинговая категория в соответствии с таблицей 2.5.

Таблица 2.5 – Рейтинговая оценка подрядчика и меры реагирования

Рейтинговая оценка	Интегральная оценка <i>B</i> (баллов)	Меры реагирования
A (отличные)	90 – 100	Приоритет в тендерах. Сокращение входного контроля. Публичное поощрение. Продление контрактов. Заключение долгосрочных соглашений.
B (надежные)	75 – 89	Стандартные условия сотрудничества. Рекомендации для улучшения. Разработка и внедрение корректирующих мер. Усиление контроля на отдельных этапах.
C (ненадежные)	50 – 74	Внедрение корректирующих планов. Штрафные санкции за срывы сроков. Усиленный входной контроль. Поиск альтернативных поставщиков.
D (неудовлетворительные)	< 50	Расторжение контракта. Включение в «чёрный список». Исключение из базы данных поставщиков.

Для визуализации результатов рекомендуется строить сравнительные диаграммы по категориям и показателям, а также тепловые карты для выявления «слабых мест» каждого подрядчика.

Таким образом, разработанная система оценки подрядчиков (поставщиков) при аутсорсинге в процессах реализации строительных проектов позволяет:

- объективно и многокритериально оценивать потенциальных и действующих подрядчиков;
- выявлять сильные и слабые стороны каждого подрядчика по семи категориям и 21 показателю;
- принимать обоснованные управленческие решения о допуске к тендерам, условиях сотрудничества и необходимости корректирующих действий;
- формировать базу данных надёжных и ненадёжных подрядчиков для использования в будущих проектах.

2.3 Математическая модель оценки строительного проекта

Для обеспечения возможности сравнения различных проектов между собой, а также для объективного контроля хода реализации необходим единый

количественный показатель – интегральный показатель результативности процесса [49]. При его построении важно выбрать способ свёртки частных критериев в общую оценку.

Объектом оценки является организационный процесс реализации строительного проекта, состоящий из семи основных этапов (это процесс, который осуществляется на верхнем организационном уровне реализации проекта):

- 1) планирование проекта;
- 2) выполнение части работ собственными силами;
- 3) поиск подрядчика и заключение договора;
- 4) выполнение работ подрядчиком по договору (параллельно этапу 2);
- 5) сдача-приёмка всех работ;
- 6) эксплуатация объекта;
- 7) завершение цикла и улучшения (в том числе параллельно – внедрение корректирующих действий подрядчиком).

Ключевыми критериями, всесторонне характеризующими успешность строительного проекта, выступают:

– качество (Q) – отражает степень соответствия результатов проекта установленным требованиям, техническим регламентам и ожиданиям заказчика. В строительстве качество работ напрямую влияет на безопасность и долговечность объекта, поэтому данный критерий выделен в качестве самостоятельного и приоритетного;

– соблюдение сроков (T) – характеризует своевременность выполнения как отдельных этапов, так и проекта в целом. Нарушение сроков влечёт за собой финансовые потери, штрафные санкции и репутационные издержки, что делает данный показатель критически важным;

– результативность использования ресурсов (E) – оценивает использование ресурсов процесса (финансовых, трудовых, материальных): соблюдение плановых затрат, отдачу от использованных ресурсов, эффект привлечения внешних ресурсов, долю ресурсов, направленных на обеспечение

качества, результативность вложений в улучшения и срок их возмещения. Данный критерий позволяет судить об обоснованности затрат и целесообразности реализации проекта;

– рискоустойчивость (R) (в терминах теории надёжности – надёжность процесса) – характеризует способность процесса противостоять возникновению сбоев, отказов и нештатных ситуаций. В условиях высокой неопределённости, присущей строительной деятельности, данный критерий выступает в роли «предохранителя», ограничивающего влияние негативных факторов на итоговый результат.

Выбор именно этих четырёх критериев обусловлен их комплексностью (они охватывают все ключевые аспекты управления проектом: содержание, время, стоимость и риски [24, 92]) и практической значимостью для принятия управленческих решений.

Способ свёртки частных критериев обоснован в п. 1.3.2: аддитивные модели допускают компенсацию низких значений одних показателей за счёт высоких значений других, тогда как мультипликативная свёртка составляющих (при аддитивной агрегации частных показателей внутри этапов) реализует принцип «слабого звена» [69, 82, 107, 108]. Учитывая высокую степень неопределённости и рисков в строительстве, в качестве базовой формы принята мультипликативная свёртка: она автоматически ужесточает требования ко всем составляющим процесса и не позволяет «перекрыть» провалы в управлении рисками за счёт перевыполнения плана по срокам или бюджету. Далее представлен вывод формулы интегрального показателя и обоснование выбора весовых коэффициентов.

2.3.1 Интегральный показатель результативности процесса

Представим интегральный показатель результативности процесса реализации строительного проекта в мультипликативной форме [49, 81, 82]:

$$I = Q^{\alpha} \cdot T^{\beta} \cdot E^{\gamma} \cdot R^{\delta}, \quad (2.3)$$

где $I \in [0; 1]$ – интегральный показатель результативности процесса; $Q \in [0; 1]$ – интегральный показатель качества; $T \in [0; 1]$ – интегральный показатель соблюдения сроков; $E \in [0; 1]$ – интегральный показатель результативности использования ресурсов; $R \in [0; 1]$ – интегральный показатель рискоустойчивости; $\alpha, \beta, \gamma, \delta \geq 0$ – весовые экспоненты, характеризующие относительную значимость каждого компонента; условие нормировки $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 1$ обеспечивает сохранение результата в диапазоне $[0; 1]$ и однородность свёртки.

Весовые экспоненты определяются экспертно руководством предприятия, например методом анализа иерархий [77]. Для строительной деятельности, где приоритетом являются безопасность и надёжность объекта (см. п. 1.3.2), рекомендуется придавать бóльший вес качеству и рискоустойчивости; в качестве базовых значений в работе приняты $\alpha = 0,3$; $\beta = 0,2$; $\gamma = 0,2$; $\delta = 0,3$. Тогда интегральный показатель принимает вид:

$$I = Q^{0,3} \cdot T^{0,2} \cdot E^{0,2} \cdot R^{0,3}. \quad (2.4)$$

Полученное значение интегрального показателя результативности процесса I интерпретируется по шкале, представленной в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Шкала интерпретации результата оценки I

Диапазон I	Интерпретация интегральной оценки процесса
$[0,90; 1,00]$	Отличная результативность (процесс оптимизирован)
$[0,75; 0,90)$	Хорошая результативность (требуется незначительные улучшения)
$[0,60; 0,75)$	Удовлетворительная результативность (требуется улучшения)
$[0,45; 0,60)$	Неудовлетворительная результативность (есть критические проблемы, требуется подробный анализ причин и запуск процесса решения проблем)
$[0; 0,45)$	Недопустимая результативность (процесс фактически не функционирует, требуется полная переработка)

Следует отметить, что из-за нелинейности мультипликативной формы средние значения показателей будут приводить к меньшему I , чем в аддитивной модели, – это особенность данного подхода.

Преимущества мультипликативной формы в сравнении с аддитивными моделями с весовыми коэффициентами [107, 108]:

1) чувствительность к «слабому звену»: если хотя бы один из компонентов близок к нулю, интегральный показатель резко снижается, что

отражает системный характер процесса и делает модель особенно пригодной для риск-ориентированных или регулируемых процессов в строительстве;

2) отсутствие компенсации: в отличие от аддитивной модели, здесь нельзя скомпенсировать низкий уровень одного показателя за счёт высокого значения другого – например, низкий уровень управления рисками за счёт высокого качества, и наоборот; тем самым поддерживается принцип «безопасного минимума» – ни один компонент не должен быть низким;

3) учёт взаимозависимости показателей и гибкость взвешивания: через выбор степеней можно усилить влияние критических факторов (например, $\delta = 0,4$ при высокой важности управления рисками);

4) пригодность для высокорисковых, регулируемых или критически важных сценариев аутсорсинга.

Выбор мультипликативной формы обусловлен неприемлемостью компенсации в строительной деятельности. Аддитивная модель позволяет высокому значению одного показателя перекрыть провал другого: например, экономия ресурсов способна замаскировать критически низкую рискоустойчивость, то есть повышенную вероятность аварии, брака или нарушения требований безопасности. Мультипликативная свёртка реализует принцип «слабого звена»: при стремлении любой составляющей к нулю интегральный показатель также стремится к нулю, и ни один аспект процесса не может быть принесён в жертву другому. Отдельно следует пояснить, что применяемое при анализе логарифмирование не заменяет мультипликативную модель на аддитивную: тождество $\ln I = \alpha \ln Q + \beta \ln T + \gamma \ln E + \delta \ln R$ используется исключительно как инструмент декомпозиции прироста показателя между составляющими (п. 3.3.5) и не изменяет ни форму свёртки, ни её свойства.

Рассмотрим каждый интегральный показатель подробнее.

2.3.2 Интегральный показатель качества процесса (Q)

Интегральный показатель качества Q представляет собой комплексную метрику, которая агрегирует результаты оценки по всем семи этапам процесса (от планирования до завершения цикла):

$$Q = \sum_{k=1}^7 \beta_k S_k, \quad (2.5)$$

где Q – интегральный показатель качества; S_k – сводный показатель качества по k -му этапу ($k = 1 \dots 7$); β_k – вес k -го этапа ($\sum_{k=1}^7 \beta_k = 1$).

Далее рассмотрим более подробно определение сводного показателя оценки качества процесса S_k .

2.3.3 Сводный показатель качества по этапу S_k

Сводный показатель качества по этапу S_k формируется для каждого этапа k на основе набора частных метрик $P_{k,m}$, которые описаны в таблице 2.7. Общая формула для расчёта данного показателя следующая [3]:

$$S_k = \sum_{m=1}^{M_k} \mu_{k,m} \cdot g_{k,m}(P_{k,m}), \quad (2.6)$$

где M_k – количество показателей на этапе k ; $P_{k,m}$ – значение m -го показателя этапа k ; $g_{k,m}$ – функция нормирования для данного показателя; $\mu_{k,m}$ – вес m -го показателя внутри этапа ($\sum_m \mu_{k,m} = 1$).

Показатели качества Q и показатели результативности использования ресурсов E используют частично совпадающие исходные данные, что является осознанным решением. Показатели Q характеризуют результат отдельного этапа процесса (например, достоверность планирования как свойство этапа 1 или тяжесть последствий гарантийных отказов как свойство этапа 6), тогда как показатели E характеризуют проект в целом (использование плановых затрат, доля ресурсов на обеспечение качества, результативность вложений в улучшения). Один и тот же факт оценивается на разных уровнях агрегации и отвечает на разные вопросы: «насколько качественно выполнен этап» и

«насколько результативно использованы ресурсы проекта». Совпадение исходных данных не приводит к двойному учёту, поскольку в мультипликативной модели каждая составляющая входит с собственным весом и отражает самостоятельный аспект результативности.

Примеры показателей качества для различных этапов процесса представлены в таблице 2.7. Полная таблица приведена в Приложении 3.

Таблица 2.7 – Сводная таблица показателей качества по этапам процесса (фрагмент)

Этап	Название показателя	Описание показателя	Формула	Методика расчёта (данные, ответственный, периодичность)	Критерии оценки (нормативный уровень)
1. Планирование выполнения работ	1.1 Достоверность планирования стоимости работ	Характеризует результативность этапа 1 по аспекту качества планирования: степень соответствия фактической стоимости работ плановой	$\Delta C = \frac{C_{fact} - C_{plan}}{C_{plan}} * 100\%$ где: C_{fact} – фактические затраты на выполнение работ (руб.); C_{plan} – плановая стоимость согласно экономическому обоснованию (этап 1.6) (руб.).	Данные: Экономическое обоснование на выполнение работы (этап 1.6), итоговые затраты по проекту (акты КС-2, КС-3, данные бухгалтерии, этап 5). Кто: Экономический отдел. Как часто: По завершении этапа 5 (после приёмки работ).	Цель: $\leq \pm 5\%$ – высокая точность планирования. Допустимо: $\pm 5\%$ – приемлемая погрешность, но требует анализа причин. Критично: $> \pm 15\%$ – грубые ошибки планирования, пересмотр методик расчёта.
	1.2 Достоверность планирования трудозатрат	Характеризует результативность этапа 1 по аспекту качества планирования трудовых ресурсов	$\Delta L = \frac{L_{fact} - L_{plan}}{L_{plan}} * 100\%$ где: L_{fact} – фактические трудозатраты (человеко-часы); L_{plan} – плановые трудозатраты согласно экономическому обоснованию (человеко-часы).	Данные: Экономическое обоснование, таблицы учёта рабочего времени (этап 2), отчёты подрядчиков о трудозатратах (этап 4). Кто: ПТО, экономический отдел. Как часто: По завершении этапа 2 или 4 (для соответствующих работ).	Цель: $\leq \pm 5\%$ – хорошее совпадение. Допустимо: $\pm 5\%$ – $\pm 15\%$ – умеренное отклонение. Критично: $> \pm 15\%$ – существенный перерасход или недовыполнение, влияющее на сроки и бюджет.
	1.3 Полнота учёта рисков	Характеризует результативность этапа 1 по аспекту управления рисками	$R_{cov} = \frac{N_{identified}}{N_{realized}} * 100\%$ где: $N_{identified}$ – число реализовавшихся рисков, которые предварительно идентифицированы и включены в план управления рисками; $N_{realized}$ – общее число реализовавшихся рисков за проект.	Данные: Реестр рисков, протоколы анализа (этап 1.3), постанализ проекта (этап 7). Кто: Риск-менеджер или руководитель проекта. Как часто: По окончании проекта.	Цель: $\geq 80\%$ – система управления рисками работает результативно. Допустимо: 60–80 % – средний уровень, требуется улучшение идентификации. Критично: $< 60\%$ – большинство рисков не были предвидены, необходима ревизия методики анализа.
...	...	...	...	...	...

Применительно к таблице 2.7 следует отметить ряд важных моментов.

1. Весовые коэффициенты ($\mu_{k,m}$, β_k) должны быть утверждены внутренними регламентами компании и могут варьироваться в зависимости от типа проекта.

2. Периодичность расчёта может быть адаптирована под реальный документооборот: оперативные показатели (например, выполнение плана, дефектность) рекомендуется рассчитывать еженедельно или ежемесячно, стратегические – ежеквартально или по завершении проекта.

3. Нормативные уровни следует уточнять на основе статистики выполненных ранее аналогичных проектов и отраслевых бенчмарков. В таблице приведены ориентировочные значения.

4. Для показателей, связанных с аутсорсингом (I_{contr} , D_{sub} , $T_{replace}$, D_{court}), особое внимание уделяется анализу результативности привлечения внешних ресурсов и управлению подрядчиками.

Приведём пример формирования сводного показателя для этапа 1 «Планирование выполнения работы». Для данного сводного показателя по соответствующим подэтапам процесса запланированы следующие оценки: $P_{1,1}$ – достоверность планирования стоимости работ (ΔC); $P_{1,2}$ – достоверность планирования трудозатрат (ΔL); $P_{1,3}$ – полнота учёта рисков (R_{cov}); $P_{1,4}$ – своевременность разработки ТЗ (T_{tz}).

Тогда получаем следующее выражение для сводного показателя качества первого этапа:

$$S_1 = \mu_{1,1}g(\Delta C) + \mu_{1,2}g(\Delta L) + \mu_{1,3}g(R_{cov}) + \mu_{1,4}g(T_{tz}). \quad (2.7)$$

Приведём пример функций нормирования для данных показателей. Для ΔC (отклонение в %):

$$g(\Delta C) = \begin{cases} 1, & |\Delta C| \leq 5 \% ; \\ 1 - \frac{|\Delta C| - 5}{10}, & 5 \% < |\Delta C| \leq 15 \% ; \\ 0, & |\Delta C| > 15 \% . \end{cases} \quad (2.8)$$

Для ΔL (отклонение в %) – аналогично ΔC ; для R_{cov} (%): $g(R_{cov}) = R_{cov}/100$ (линейно до 100 %); для T_{tz} (относительное отклонение) – аналогично ΔC с порогами 0 %, +10 %, +20 %.

Остальные сводные показатели по этапам процесса определяются аналогичным образом.

Все веса ($\beta_k, \mu_{k,m}$) для расчёта интегрального показателя качества Q устанавливаются экспертным путём (например, методом анализа иерархий [77]) и утверждаются в системе менеджмента качества. Они могут пересматриваться в зависимости от стратегических приоритетов компании. В качестве рекомендуемых значений весовых коэффициентов предлагаются следующие: β_k равномерно, $\beta_k = 1/7 \approx 0,143$ (или с приоритетом этапов 5 и 7); $\mu_{k,m}$ – в зависимости от важности метрики внутри этапа.

Методика расчёта интегрального показателя качества Q :

1) сбор данных: после завершения проекта (или на контрольных точках) собираются значения всех частных показателей согласно методикам из расширенной таблицы (Приложение 3);

2) нормирование: каждый показатель преобразуется в безразмерную оценку $[0; 1]$ с использованием заранее определённых функций $g_{k,m}$;

3) агрегация по этапам: для каждого этапа вычисляется S_k как взвешенная сумма нормированных показателей этого этапа;

4) финальная агрегация: вычисляется $Q = \sum_{k=1}^7 \beta_k S_k$;

5) полученное значение интерпретируется по шкале, представленной в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Критерии оценки интегрального показателя качества Q

Диапазон Q	Оценка	Комментарий
$[0,90; 1,0]$	Отлично	Проект выполнен на высоком уровне качества, практически все цели достигнуты.
$[0,75; 0,90)$	Хорошо	Проект выполнен на хорошем уровне качества, все ключевые цели достигнуты.
$[0,5; 0,75)$	Удовлетворительно	Приемлемое качество, но есть области, требующие улучшения. Рекомендуется анализ причин отклонений.
$[0; 0,5)$	Неудовлетворительно	Качество проекта низкое, необходимы срочные корректирующие действия и пересмотр процессов.

Периодичность расчёта интегрального показателя качества Q определяется исходя из следующих условий: для завершённого проекта – однократно после этапа 7; для мониторинга в ходе проекта – возможно ежемесячное или поквартальное вычисление Q с учётом показателей только по завершённым этапам (промежуточная оценка).

За проведение оценки отвечают следующие лица: руководитель проекта, отдел качества, экономический отдел (предоставление данных), аналитик (расчёт).

Предложенный подход к определению общего уровня качества процесса реализации строительного проекта обладает следующими преимуществами: комплексность – показатель учитывает детали по каждому этапу процесса; гибкость – все веса и функции нормирования отдельных показателей могут настраиваться под специфику компании и типы проектов; прозрачность – каждый уровень агрегации легко декомпозируется для выявления «узких мест»; ориентация на улучшения – позволяет количественно оценивать результативность корректирующих действий.

Таким образом, единый показатель качества Q даёт интегральную оценку качества всего процесса реализации строительного проекта, объединяя в себе различные метрики и позволяя принимать обоснованные управленческие решения.

2.3.4 Интегральный показатель соблюдения сроков процесса (Т)

Показатель времени имеет полностью сквозной характер – он характеризует уровень выполнения плановых сроков соответствующих работ (задач) по всем этапам процесса. При этом в рамках каждого этапа процесса всегда есть несколько таких работ (обозначим их число N_s), поэтому итоговое значение показателя по соответствующему этапу процесса определяется следующим образом:

$$T_s = \prod_{k=1}^{N_s} \exp \left[-\max \left(0, \frac{t_k^{fact} - t_k^{plan}}{t_k^{plan}} \right) \right] = \exp \left[-\sum_{k=1}^{N_s} \max \left(0, \frac{t_k^{fact} - t_k^{plan}}{t_k^{plan}} \right) \right], \quad (2.9)$$

где k – номер работы (задачи) по порядку; t_k^{fact} – фактическое время выполнения k -й задачи; t_k^{plan} – планируемое время выполнения k -й задачи; N_s – общее количество задач в рамках этапа процесса; s – номер этапа процесса.

Методика расчёта показателя T_s проста: в рамках реализации проекта фиксируются даты перехода процесса с этапа на этап и в рамках конкретного этапа – с задачи на задачу, после чего определяется время выполнения соответствующей задачи и этапа и сравнивается с запланированным. Ответственным за расчёт является отдел качества. Длительность проекта в целом определяется как сумма длительностей последовательных этапов 1, 3, 5 и 7 и наибольшей из длительностей параллельных этапов 2 и 4; этап 6 (эксплуатация, гарантийное наблюдение) в длительность проекта не включается, но отклонения по его задачам (сроки регламентных работ и устранения недостатков) учитываются в T_6 .

Интерпретация показателя T_s : $T_s = 1$ – идеальное соблюдение сроков (все задачи выполнены не позже плана); при задержке одной из задач на 100 % (факт = 2 × план) вклад этой задачи в экспоненту составляет $e^{-1} \approx 0,37$, что сильно снижает T_s , но не обращает его в ноль.

Показатель T_s описывается экспоненциально убывающей функцией. Это гарантирует, что даже при больших задержках значение T_s остаётся положительным, но стремится к нулю по мере роста отклонения, что отражает «почти катастрофический» сбой, не обнуляя проект полностью.

Соответственно, чтобы сохранить мультипликативный характер модели, для определения T необходимо далее определить взвешенное среднее геометрическое временных показателей T_s по всем этапам процесса (всего их $N = 7$):

$$T = \prod_{s=1}^N T_s^{w_s}, \quad (2.10)$$

где w_s – весовые коэффициенты важности этапов с точки зрения сроков их выполнения, $\sum_{s=1}^N w_s = 1$.

Если веса не используют, считая этапы в этом смысле эквивалентными, то формула (2.10) преобразуется в простое среднее геометрическое:

$$T = \sqrt[N]{\prod_{s=1}^N T_s}. \quad (2.11)$$

Использование среднего геометрического здесь оправдано, так как, если хотя бы один этап имеет очень низкий T_s (например, 0,1), то среднее геометрическое заметно снизит итоговый T , в то время как среднее арифметическое могло бы «сгладить» этот провал за счёт высоких значений других этапов [107]. Среднее геометрическое сохраняет размерность и диапазон $[0; 1]$, при этом $T = 0$ достигается только в предельном случае, когда хотя бы один $T_s = 0$ (что при экспоненциальной формуле возможно лишь при бесконечной задержке). Таким образом, модель остаётся чувствительной к «слабым звеньям», но не вносит искусственных разрывов и жёсткого обнуления при двукратных и более задержках сроков выполнения этапов.

2.3.5 Интегральный показатель результативности использования ресурсов процесса (Е)

Компонента Е характеризует результативность использования ресурсов процесса – финансовых, трудовых и материальных. Компонента формируется шестью частными показателями: 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). Свёртка принимает

вид $E = \sum_{j=1}^6 \omega_j \cdot h_j(P_j)$, где $P_1 = \text{КИПЗ}$, $P_2 = \text{ОИР}$, $P_3 = \text{ЭВР}$, $P_4 = \text{ДРОК}$, $P_5 = \text{РВУ}$, $P_6 = \text{СВР}$.

Показатели результативности использования ресурсов формируются в рамках всего процесса, т. е. они имеют глобальный характер и характеризуют процесс в целом. Всего выделено шесть показателей, которые охватывают базовые характеристики использования ресурсов: коэффициент использования плановых затрат, отдачу от использованных ресурсов и срок их возмещения, эффект привлечения внешних ресурсов, долю ресурсов, направленных на обеспечение качества [16], и результативность вложений в улучшения (таблица 2.9).

Таблица 2.9 – Показатели результативности использования ресурсов

Название показателя	Описание	Формула	Методика расчёта (данные, ответственный, периодичность)	Критерии оценки (нормативный уровень с комментариями)
1. Коэффициент использования плановых затрат (КИПЗ)	Отношение плановой стоимости проекта к фактической. Показывает, насколько удалось уложиться в смету. Значение >1 означает экономию, <1 – перерасход.	$\text{КИПЗ} = \frac{C_{\text{plan}}}{C_{\text{fact}}}$ где: C_{plan} – плановая стоимость проекта согласно утверждённой смете (руб.); C_{fact} – фактические затраты по проекту (руб.) на основании закрывающих документов (КС-2, КС-3, акты, договоры).	Данные: Экономическое обоснование (этап 1.6), итоговые финансовые отчёты, акты выполненных работ (этап 5). Кто: Экономический отдел. Как часто: По завершении проекта.	Цель: $\geq 1,0$ – проект выполнен в рамках бюджета или с экономией. Допустимо: 0,95–1,0 – незначительный перерасход (до 5 %). Критично: $< 0,95$ – существенный перерасход, требующий анализа причин.
2. Отдача от использованных ресурсов (ОИР)	Отношение чистой прибыли (или ресурсного эффекта) к общим затратам. Характеризует отдачу от использованных ресурсов. Для некоммерческих проектов может использоваться показатель снижения себестоимости.	$\text{ОИР} = \frac{D - C_{\text{fact}}}{C_{\text{fact}}} \times 100\%$ где: D – доход от проекта (руб.) (для коммерческих объектов – выручка от реализации, для внутренних – оценённый ресурсный эффект от эксплуатации); C_{fact} – фактические затраты.	Данные: Бизнес-план, данные бухгалтерии о доходах от объекта (после ввода в эксплуатацию), отчёты об экономии ресурсов. Кто: Экономический отдел. Как часто: После выхода объекта на проектную мощность (обычно через 6–12 месяцев после ввода).	Цель: $\geq 15\%$ (для коммерческих проектов) / положительная динамика для внутренних. Допустимо: 5–15 % – приемлемая доходность. Критично: $< 5\%$ или отрицательное значение – проект убыточен.
3. Эффект привлечения внешних ресурсов (ЭВР)	Доля экономии, полученной за счёт привлечения внешних исполнителей по сравнению с	$\text{ЭВР} = \frac{\sum_{i=1}^N C_{\text{own},eq_i} \cdot V_i - C_{\text{out},fa}}{\sum_{i=1}^N C_{\text{own},eq_i} \cdot V_i} \times 100\%$	Данные: Этап 3 (сметы подрядчиков), внутренние калькуляции себестоимости (в удельных единицах),	Цель: $> 0\%$ – аутсорсинг дешевле собственного выполнения. Допустимо: 0 % – равноценно.

Название показателя	Описание	Формула	Методика расчёта (данные, ответственный, периодичность)	Критерии оценки (нормативный уровень с комментариями)
	выполнением работ собственными силами. Рассчитывается только для работ, переданных на аутсорсинг.	где: C_{own,eq_i} – оценка удельной стоимости выполнения тех же i-х работ собственными силами (руб./ед. изм.) объёма V_i , рассчитанная по внутренним нормативам; $C_{out, fact}$ – фактические затраты на аутсорсинг по договорам (руб.).	фактические затраты по договорам (этап 4). Кто: Экономический отдел. Как часто: По завершении проекта (суммарно по всем договорам аутсорсинга).	Критично: < 0 % – аутсорсинг обошёлся дороже, требуется анализ причин (возможно, неверная оценка или срочность).
4. Доля ресурсов, направленных на обеспечение качества (ДРОК)	Доля затрат, связанных с обеспечением качества (контроль, испытания) и устранением дефектов, в общей стоимости проекта. Чем ниже, тем результативнее система качества.	$= \frac{C_{control} + C_{rework} + C_{warranty}}{C_{fact}} \times 100\%$ где: $C_{control}$ – затраты на контроль качества (работа отдела качества, испытания, экспертизы); C_{rework} – затраты на устранение дефектов (доработки, переделки); $C_{warranty}$ – затраты на гарантийный ремонт (этап 6); C_{fact} – общие фактические затраты.	Данные: Этапы 2, 4, 5, 6: акты о недостатках, сметы на доработки, затраты на гарантийный ремонт, бюджет отдела качества. Кто: Экономический отдел совместно с отделом качества. Как часто: По завершении проекта и после окончания гарантийного периода.	Цель: < 5 % – низкие потери от качества. Допустимо: 5–10 % – средний уровень. Критично: > 10 % – высокие издержки, необходимы меры по улучшению качества.
5. Результативность вложений в улучшения (РВУ)	Доля затрат на корректирующие действия, приведшие к устранению проблемы, в общих затратах на разработку и внедрение корректирующих действий. Показывает, насколько результативно использованы ресурсы, вложенные в улучшения.	$РВУ = \frac{C_{actions R}}{C_{actions}}$ где: $C_{actions R}$ – затраты на разработку и внедрение корректирующих действий, приведших к устранению проблемы (руб.); $C_{actions}$ – общие затраты на разработку и внедрение корректирующих действий (руб.).	Данные: Этап 7: план-отчёт КД, сравнительный анализ затрат на качество по проектам, данные бухгалтерии. Кто: Экономический отдел. Как часто: По завершении цикла улучшений.	Цель: $\geq 0,9$ – корректирующие действия высокорезультативны. Допустимо: 0,7–0,9 – хорошая результативность. Критично: < 0,7 – низкая результативность (0,5–0,7 – требуется анализ причин; < 0,5 – требуется пересмотр мероприятий).
6. Срок возмещения использованных ресурсов (СВР)	Период времени, за который чистый доход от проекта покрывает первоначальные инвестиции. Для некоммерческих проектов может	$= \min T: \sum_{t=1}^T (D_t - C_t) \geq I_0$ где: D_t – доходы в период t	Данные: Бизнес-план, прогнозы эксплуатационных доходов и расходов, фактические данные после ввода объекта (этап 6). Кто: Экономический	Цель: $\leq$ планового срока окупаемости, указанного в бизнес-плане. Допустимо: превышение плана не более чем на 20 %. Критично: превышение более 20

Название показателя	Описание	Формула	Методика расчёта (данные, ответственный, периодичность)	Критерии оценки (нормативный уровень с комментариями)
	рассчитывается срок возмещения дополнительных вложений.	(руб.); C_t – эксплуатационные затраты в период t (без учёта инвестиций); I_0 – первоначальные инвестиции (стоимость строительства). Расчёт может быть дисконтированным (ДСВР) с учётом ставки дисконтирования r .	отдел. Как часто: После накопления достаточных данных по эксплуатации (ежеквартально до момента окупаемости).	% или недостижение окупаемости в пределах расчётного горизонта.

Для получения обобщённой оценки результативности использования ресурсов предлагается интегральный показатель E , агрегирующий все вышеперечисленные метрики после их нормирования в единую шкалу [0; 1]:

$$E = \sum_{j=1}^6 \omega_j \cdot h_j(P_j), \quad (2.12)$$

где P_j – значение j -го показателя результативности использования ресурсов (КИПЗ, ОИР, ЭВР, ДРОК, РВУ, СВР); $h_j(P_j)$ – функция нормирования, приводящая исходный показатель к безразмерной оценке от 0 до 1 (чем ближе к 1, тем лучше); ω_j – весовой коэффициент значимости j -го показателя ($\sum \omega_j = 1$).

Для каждого показателя задаётся целевой интервал и правило преобразования. Примеры функций нормирования представлены в таблице 2.10; отметим, что они могут быть уточнены экспертно. Для внутренних некоммерческих проектов (ремонт, реконструкция собственных объектов), не имеющих выручки, вместо отдачи от использованных ресурсов (ОИР) используется ресурсный эффект от проекта – оценённое снижение эксплуатационных затрат в процентах от стоимости проекта – с той же функцией нормирования h_2 ; срок возмещения использованных ресурсов в этом случае оценивается отношением фактического срока к плановому.

Таблица 2.10 – Примеры функций нормирования для показателей результативности использования ресурсов

j	Показатель	Желаемое значение	Функция нормирования $h(P)$	Комментарий
1	Коэффициент использования плановых затрат (КИПЗ)	$\geq 1,0$	$h_1(\text{КИПЗ}) = \min \left(1, \max \left(0, \frac{\text{КИПЗ} - 0,9}{0,1} \right) \right)$	Линейный рост: от 0 при 0,9 до 1 при КИПЗ $\geq 1,0$
2	Отдача от использованных ресурсов (ОИР)	$\geq 15 \%$	$h_2(\text{ОИР}) = \min \left(1, \max \left(0, \frac{\text{ОИР} - 5}{10} \right) \right) (P \text{ в } \%)$	0 при ОИР $\leq 5 \%$, 1 при ОИР $\geq 15 \%$
3	Эффект привлечения внешних ресурсов (ЭВР)	$\geq 0 \%$	$h_3(\text{ЭВР}) = \begin{cases} 1, & \text{ЭВР} \geq 10 \% \\ \frac{\text{ЭВР} + 10}{20}, & -10 \% \leq \text{ЭВР} < 10 \% \\ 0, & \text{ЭВР} < -10 \% \end{cases}$	Положительная экономия выше 10 % даёт 1; отрицательная ниже -10 % даёт 0
4	Доля ресурсов, направленных на обеспечение качества (ДРОК)	$< 5 \%$	$h_4(\text{ДРОК}) = \max \left(0,1 - \frac{\text{ДРОК} - 2}{8} \right)$ при ДРОК $\in [2 \%; 10 \%]$; 1 при ДРОК $< 2 \%$; 0 при ДРОК $> 10 \%$	Чем меньше ДРОК, тем лучше
5	Результативность вложений в улучшения (РВУ)	$\geq 0,9$	$h_5(\text{РВУ}) = \min \left(1, \max \left(0, \frac{\text{РВУ} - 0,7}{0,2} \right) \right)$	Линейный рост: от 0 при РВУ = 0,7 (нижняя граница уровня «допустимо» по таблице 2.9) до 1 при РВУ $\geq 0,9$
6	Срок возмещения использованных ресурсов (СВР)	$\leq \text{план}$	$h_6(\text{СВР}) = \max \left(0,1 - \frac{\text{СВР} - \text{СВР}^{\text{план}}}{0,5 \cdot \text{СВР}^{\text{план}}} \right)$ при СВР $\leq 1,5 \cdot \text{СВР}^{\text{план}}$; 0 при СВР $> 1,5 \cdot \text{СВР}^{\text{план}}$	Снижение оценки при превышении планового срока до 50 %

Веса ω_j устанавливаются в зависимости от стратегических приоритетов компании. Рекомендуемые начальные значения (равные или с акцентом на ключевые показатели): $\omega_{\text{КИПЗ}} = 0,2$; $\omega_{\text{ОИР}} = 0,25$; $\omega_{\text{ЭВР}} = 0,1$; $\omega_{\text{ДРОК}} = 0,15$; $\omega_{\text{РВУ}} = 0,1$; $\omega_{\text{СВР}} = 0,2$; сумма = 1.

Методика расчёта интегрального показателя результативности использования ресурсов процесса E следующая:

1) после завершения проекта и сбора всех необходимых данных (включая эксплуатационные) рассчитываются значения шести показателей по формулам из таблицы 2.9;

2) для каждого показателя применяется соответствующая функция нормирования h_j , дающая оценку в интервале $[0; 1]$;

3) вычисляется взвешенная сумма E ;

4) полученное значение интерпретируется по шкале, представленной в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Шкала интерпретации результата оценки *E*

Диапазон <i>E</i>	Оценка результативности использования ресурсов
[0,9; 1,0]	Отлично – проект высокорезультативен, все целевые показатели достигнуты или превышены.
[0,75; 0,9)	Хорошо – приемлемый уровень, отдельные показатели требуют внимания.
[0,5; 0,75)	Удовлетворительно – есть существенные отклонения, необходим анализ причин.
[0; 0,5)	Неудовлетворительно – результативность использования ресурсов низкая, требуется пересмотр подходов к управлению проектами.

За проведение оценки результативности использования ресурсов проекта в рамках данного подхода отвечают следующие лица: руководитель проекта, отдел качества, экономический отдел.

2.3.6 Интегральный показатель рискоустойчивости процесса (R)

Для оценки процесса с точки зрения рисков используется методика, основанная на классическом методе анализа видов и последствий отказов (FMEA) [14, 96], который ГОСТ Р 58771-2019 [21] относит к базовым технологиям оценки риска. Риски оцениваются по всем этапам процесса согласно модели процесса, но с учётом специфики строительной деятельности (используются модифицированные таблицы с критериями оценки показателей риска – рангов значимости (S), возникновения (O) и обнаружения (D)).

Для интегральной оценки риска вводится новый показатель риска (рисконасыщенность) [73, 95], отличающийся от классического приоритетного числа риска (ПЧР) [15, 96] тем, что он характеризует уровень риска отдельного этапа процесса и формируется на основе оценок по каждому выявленному виду отказа процесса.

Рисконасыщенность (РН; в англоязычной версии методики – process risk exposure [95]) – показатель, характеризующий степень подверженности процесса риску. Этот показатель определяется на основе оценок риска по всем отказам в рамках отдельного этапа (или операции) процесса, после чего определяется интегральный показатель:

$$PH = \sum_{s=1}^N PH_s. \quad (2.13)$$

Для каждого отказа в рамках конкретного этапа (или операции) процесса определяется число риска отказа (ЧРО), которое получается суммированием чисел риска причины (ЧРП) по каждой причине в рамках всего отказа. Затем в рамках каждого этапа (или операции) вычисляется сумма ЧРО. Таким образом, получаем число, характеризующее общий риск этапа (или операции), которое и назовём рисконасыщенностью:

$$PH_s = \sum_{k=1}^{N_{отs}} ЧРО_{sk} = \sum_{k=1}^{N_{отs}} \sum_{j=1}^{N_{прk}} ЧРП_{skj}, \quad (2.14)$$

где PH_s – рисконасыщенность этапа s ; $ЧРО_{sk}$ – число риска отказа – суммарный показатель риска по конкретному отказу k в рамках s -го этапа процесса; $N_{отs}$ – количество отказов в рамках этапа s ; $ЧРП_{skj}$ – число риска причины – оценка риска по каждой j -й причине k -го отказа в рамках s -го этапа процесса, определяемая по методологии FMEA: $ЧРП_{kj} = S_k \cdot O_{kj} \cdot D_{kj}$, где S , O , D – ранги значимости, возникновения и обнаружения k -го отказа для j -й причины внутри отказа; $N_{прk}$ – число причин в рамках отказа k .

Отметим, что ЧРП по построению совпадает с классическим ПЧР, вычисленным для отдельной причины отказа. Новым является переход от оценки отдельных причин к оценке этапа процесса: суммирование ЧРП по причинам даёт число риска отказа (ЧРО), а суммирование ЧРО по отказам этапа – его рисконасыщенность. Тем самым, в отличие от ПЧР, предназначенного для ранжирования причин внутри одного протокола FMEA, рисконасыщенность сопоставима между этапами и между проектами и может использоваться как составляющая интегральной оценки.

Необходимость введения отдельного показателя обусловлена ограничениями приоритетного числа риска. ПЧР нормировано на одну причину отказа и предназначено для ранжирования причин внутри одного протокола FMEA; оно не сопоставимо между этапами и проектами и не может

суммироваться. Показатель рисконасыщенности введён как надстройка над результатами FMEA: число риска отказа (ЧРО) получается суммированием ЧРП по причинам, рисконасыщенность этапа – суммированием ЧРО по отказам этапа, рисконасыщенность процесса – суммированием по этапам. Далее выполняется нормирование в диапазон $[0; 1]$ с границами RH_{min} и RH_{lim} , после чего показатель рискоустойчивости определяется как $R = 1 - N(RH)$. Неограниченного роста показателя не происходит: состав отказов фиксируется регламентом (протокол FMEA, типовой чек-лист технологического процесса на 10–15 отказов), границы нормирования фиксированы, а за пределами рабочего интервала значение насыщается. Практическая ценность показателя состоит в двух свойствах: он обеспечивает сопоставимость процессов между собой и позволяет измерять результативность корректирующих действий – по результатам апробации (п. 3.1.6) рисконасыщенность организационного процесса снижена с 5980 до 5534, этапа выбора подрядчика – с 2548 до 2102.

Для использования данного показателя в последующих расчётах интегрального показателя результативности процесса необходима его нормирование в рамках диапазона $[0; 1]$, поэтому сначала определяем суммарное значение $RH = \sum_{s=1}^N RH_s$ в рамках всего процесса, после чего осуществляем нормирование.

Введём нормированный показатель рисконасыщенности $N(RH)$ по следующему правилу:

- задаём границу допустимой рисконасыщенности RH_{lim} – значение, выше которого процесс гарантированно переходит в зону критической ненадёжности – «красную зону» по таблице 2.12 ($R < 0,25$);

- задаём нулевой уровень RH_{min} – значение, ниже которого рисконасыщенность пренебрежимо мала и процесс считается эталонным – «зелёная зона» по таблице 2.12 ($R > 0,95$).

Рекомендуемые значения (настраиваются под компанию по историческим данным): RH_{min} – 10-й перцентиль распределения RH по всем

успешным проектам; RH_{lim} – 90-й перцентиль распределения RH по неуспешным проектам (или при отсутствии таковых – 95-й перцентиль всех проектов).

Функция нормирования:

$$N(RH) = \begin{cases} 0, & RH \leq RH_{min}; \\ \frac{RH - RH_{min}}{RH_{lim} - RH_{min}}, & RH_{min} < RH < RH_{lim}; \\ 1, & RH \geq RH_{lim}. \end{cases} \quad (2.15)$$

Свойства функции: $N(RH)$ линейно растёт от 0 до 1 в рабочем диапазоне – это обеспечивает одинаковую чувствительность к изменениям RH на любом участке внутри интервала $[RH_{min}; RH_{lim}]$; за пределами интервала значения насыщаются (0 или 1), что соответствует практической логике: дальнейшее снижение рисков ниже RH_{min} уже не улучшает процесс, а превышение RH_{lim} делает его неприемлемым независимо от степени превышения.

Алгоритм калибровки RH_{min} и RH_{lim} :

1) по каждому завершённом проекту за последние 3 года рассчитать RH (суммарная рисконасыщенность по формуле (2.13));

2) разделить проекты на две группы: «успешные» (достигнуты целевые Q , T , E) и «неуспешные» (срыв сроков более 20 %, перерасход более 15 %, неустранённые дефекты);

3) вычислить $RH_{min} = P_{10}(RH_{успешные})$ – 10-й перцентиль успешных проектов; $RH_{lim} = P_{90}(RH_{неуспешные})$ – 90-й перцентиль неуспешных проектов; если неуспешных проектов менее 5, то взять $RH_{lim} = P_{95}(RH_{все проекты})$;

4) зафиксировать полученные значения в регламенте; первичная калибровка выполняется при наличии не менее 10 завершённых проектов данного типа; пересмотр – ежегодно при накоплении не менее 5 новых проектов.

Перцентильная калибровка применима к технологическим процессам, по которым накапливается статистика проектов. Для процессов,

существующих в единственном экземпляре и оцениваемых один раз в период (организационный процесс реализации строительного проекта), границы задаются структурно, через число выявленных отказов $N_{отк}$: $RH_{min} = N_{отк} \cdot 125$ (все отказы на середине шкал, $S = O = D = 5$) и $RH_{lim} = N_{отк} \cdot 300$ (все отказы в зоне высокого приоритета). До накопления статистики границы для технологических процессов также могут устанавливаться экспертно по историческим данным организации с обязательным пересчётом по перцентильному алгоритму при достижении требуемого числа проектов.

После нормирования показатель рискоустойчивости R рассчитывается по той же логике, по которой в теории надёжности связаны надёжность и вероятность отказа [14]:

$$R = 1 - N(RH). \quad (2.16)$$

Так как фактически для каждого строительного проекта необходимо оценивать два уровня – процесс верхнего уровня, который описан в п. 2.1 (организационный процесс реализации строительного проекта), и процесс нижнего уровня, который является технологическим процессом в рамках конкретного проекта, – то необходимо ввести два разных показателя, $R_{общ}$ и $R_{техн}$ соответственно:

$$R_{общ} = 1 - N(RH_{общ}), \quad (2.17)$$

$$R_{техн} = 1 - N(RH_{техн}). \quad (2.18)$$

Показатель $R_{общ}$ оценивается один раз в год – это единая оценка для всех проектов этого года. Показатель $R_{техн}$ оценивается для каждого технологического процесса в рамках конкретного проекта один раз по каждому типу проектов с пересмотром раз в год. Для конкретного проекта используются действующие значения $R_{общ}$ и $R_{техн}$ для его типа; новый FMEA-анализ проводится только для проектов, не относящихся к ранее проанализированным типам.

Соответственно, для расчёта данных показателей необходимо оценивать рисконасыщенность по формулам (2.13)–(2.14) – через числа риска по каждой

причине (ЧРП) и каждому отказу (ЧРО) по всем этапам соответствующих процессов:

$$PH_{\text{общ}} = \sum_{s=1}^{N_{\text{общ}}} PH_{\text{общ } s}, \quad (2.19)$$

где $N_{\text{общ}}$ – количество этапов по модели процесса реализации строительного проекта ($N_{\text{общ}} = 7$); s – номер этапа по модели процесса реализации строительного проекта;

$$PH_{\text{техн}} = \sum_{z=1}^{N_{\text{техн}}} PH_{\text{техн } z}, \quad (2.20)$$

где $N_{\text{техн}}$ – количество операций технологического процесса в рамках конкретного строительного проекта; z – номер операции.

Для определения итогового значения показателя рискоустойчивости R по каждому конкретному проекту используется взвешенная оценка по формуле (2.21), веса в которой определяются экспертно руководством организации, с учётом того, что каждый индивидуальный проект несёт с собой множество рисков, непосредственно влияющих на результат реализации проекта в рамках технологического процесса (вес 0,7), но также важно учитывать риски организационного процесса, которые оказывают влияние, но менее значимы для текущего индивидуального проекта (вес 0,3):

$$R = 0,3 \cdot R_{\text{общ}} + 0,7 \cdot R_{\text{техн}}. \quad (2.21)$$

Веса в формуле (2.21) могут пересматриваться в зависимости от типа проекта (например, для уникальных проектов вес $R_{\text{техн}}$ можно увеличивать до 0,8–0,9).

Таким образом, показатель рискоустойчивости процесса характеризует надёжность процесса в целом и используется в качестве составляющей при оценке результативности процесса по формуле (2.3).

Методика расчёта интегрального показателя рискоустойчивости процесса R следующая:

1) на стадии планирования проекта, помимо проектной документации по текущему процессу, собираются исторические данные по ранее проведённым аналогичным проектам, включая эксплуатационные;

2) проводится анализ рисков с документированием в виде протокола FMEA, в котором содержится информация по оценке рисков по каждому выявленному отказу всех этапов верхнего (организационного) и нижнего (технологического) процессов;

3) определяются показатели рисконасыщенности по каждому этапу процесса RH_s и интегральный показатель RH по всему процессу (формулы (2.13) и (2.14)) для обоих видов процессов ($RH_{общ}$ и $RH_{техн}$ – формулы (2.19) и (2.20) соответственно);

4) применяется функция нормирования и получается нормированное значение $N(RH)$ в интервале $[0; 1]$ (формула (2.15));

5) определяются показатели рискоустойчивости R по обоим видам процессов ($R_{общ}$ и $R_{техн}$ – формулы (2.17) и (2.18) соответственно), и по формуле (2.21) находится интегральный показатель рискоустойчивости конкретного строительного проекта;

6) полученное значение интерпретируется по шкале, представленной в таблице 2.12 (полностью – в Приложении 4).

Таблица 2.12 – Шкала интерпретации результата оценки R и $N(RH)$ (фрагмент)

Диапазон R	Уровень R	Рисконасыщенность $N(RH)$	Интерпретация	Рекомендуемые управленческие действия
0,90–1,00	Очень высокий	0,00–0,10	«Зелёная зона». Процесс близок к эталонному. Выявленные риски минимальны и находятся в пределах допустимого. Вероятность срыва процесса из-за внутренних отказов крайне мала	Плановый мониторинг. Достаточно стандартного контроля. Существенных изменений в конструкции процесса не требуется
...	...	...	...	...
0,50–0,74	Средний	0,26–0,50	«Жёлтая зона». Процесс характеризуется значительной неопределённостью. Требуется дополнительный анализ, так как суммарное влияние рисков может превысить резервы времени и бюджета. Существует вероятность серьёзных сбоев	Обязательное планирование управления рисками. Необходимо разработать план реагирования для рисков с высоким ЧРО. Рассмотреть возможность введения дополнительных контрольных точек (D) или изменения технологии на проблемных этапах

Диапазон <i>R</i>	Уровень <i>R</i>	Рисконасыщенность <i>N(PH)</i>	Интерпретация	Рекомендуемые управленческие действия
				для снижения значимости (S) последствий
...	...	...	...	...
< 0,25	Критический	0,76–1,00	«Красная зона». Процесс крайне ненадёжен. Высока вероятность того, что цели процесса не будут достигнуты. Интегральный риск превышает допустимый порог	Остановка/реинжиниринг. Необходима кардинальная переработка процесса. Текущая конфигурация несёт в себе неприемлемые потери. Требуется повторное проведение FMEA-анализа после изменения архитектуры процесса

Модификация таблиц критериев значимости (S), возникновения (O) и обнаружения (D) выполнялась с учётом отраслевых особенностей строительного производства, где каждый этап характеризуется высокой степенью неопределённости, жёсткой последовательностью операций, зависимостью от погодно-климатических условий, качества поставок и человеческого фактора [65, 106].

В отличие от классического FMEA, ориентированного на машиностроительные и производственные системы, в строительной деятельности акцент смещён с «отказа элемента» на «отказ операции или этапа процесса», что потребовало пересмотра формулировок: шкала значимости (S) увязана не с тяжестью поломки оборудования, а с последствиями для сроков, бюджета, безопасности труда и эксплуатационной пригодности объекта; шкала возникновения (O) адаптирована под частоту не только технических сбоев, но и организационных нарушений, ошибок в документации, задержек поставок и отклонений от технологии; шкала обнаружения (D) дополнена критериями результативности входного, операционного и приёмочного контроля, а также возможностью выявления рисков на предшествующих этапах. Кроме того, введены отраслевые дескрипторы для каждого ранга (от 1 до 10) с конкретными примерами из строительной практики, что обеспечивает единообразие экспертных оценок и снижает субъективизм [93]. Такая адаптация позволяет применять методику не только к технологическим процессам, но и к управленческим процедурам верхнего уровня, сохраняя

преимущество терминологии (отказ, причина, следствие) и обеспечивая сопоставимость результатов по разным проектам.

2.4 Алгоритм оценки интегрального показателя результативности строительного проекта

На рисунке 2.3 приведён алгоритм оценки интегрального показателя результативности проекта I .

Алгоритм интегральной оценки результативности строительного проекта начинается со сбора исходных данных по проекту, после чего последовательно рассчитываются четыре частных показателя: качество (Q), соблюдение сроков (T), результативность использования ресурсов (E) и рискоустойчивость (R).

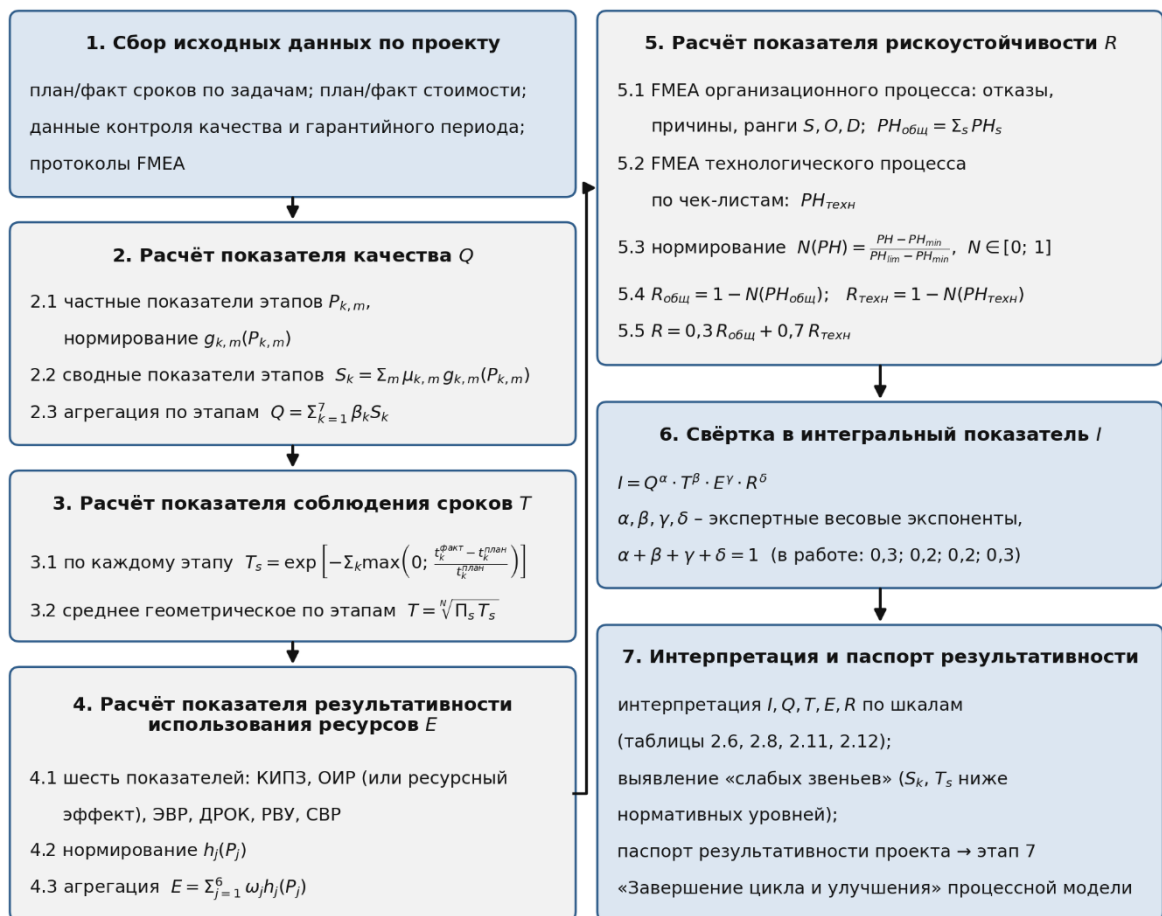


Рисунок 2.3 – Алгоритм оценки интегрального показателя результативности проекта (I)

Для Q вычисляются частные метрики по каждому этапу с последующей агрегацией. T определяется через расчёт относительной задержки по этапам и вычисление среднего геометрического. E включает расчёт шести показателей (КИПЗ, ОИР, ЭВР, ДРОК, РВУ, СВР), их нормирование и взвешенное суммирование. R рассчитывается на основе FMEA-анализа организационного и технологического процессов с определением рисконасыщенности, её нормированием и получением итогового R как взвешенной суммы общепроцессной и технологической составляющих. Результаты расчёта показателей для ряда реальных проектов анализируются в главе 3.

После нормирования всех частных показателей они сводятся в интегральный показатель I с помощью мультипликативной свёртки с экспертными весами (α , β , γ , δ), после чего полученное значение интерпретируется по установленной шкале и формируется паспорт результативности проекта. Паспорт результативности – итоговый документ оценки, содержащий значения I , Q , T , E , R и их шкальные интерпретации, значения сводных показателей по этапам S_k и T_s , выявленные «узкие места» (показатели ниже нормативного уровня) и перечень назначенных корректирующих действий. Паспорт является входом этапа 7 «Завершение цикла и улучшения» процессной модели.

2.5 Выводы по главе

Во второй главе диссертационной работы выполнено комплексное моделирование процессов реализации строительного проекта с применением аутсорсинга, разработана система показателей оценки качества и предложена математическая модель для интегральной оценки результативности процесса.

1. В нотации BPMN 2.0 разработана обобщённая многоуровневая структурно-функциональная модель процесса реализации строительного проекта, охватывающая полный жизненный цикл: от планирования работ до завершения цикла и внедрения улучшений. Модель включает семь основных

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) и дополнительный этап 7*, отражающий внедрение корректирующих действий подрядчиком. Важной особенностью модели является наличие шлюза выбора исполнителя после этапа планирования. Для каждого этапа верхнего уровня определены входы, выходы, задействованные ресурсы и нормативно-управляющая документация, а также представлены основные действия участников строительного проекта.

2. Выполнена детализация процессов второго уровня модели для всех семи этапов. Для этапа 1 раскрыты параллельные потоки экономического, технического и юридического анализа, разработка концепции и технического задания, принятие решения об исполнителе. Для этапа 2 детализированы подготовка к выполнению работ, инструктажи, процессы закупки и выдачи материалов, промежуточный контроль и завершение работ. Для этапа 3 представлены анализ собственной базы подрядчиков и рынка, комплексная балльная оценка кандидатов, работа с коммерческими предложениями, параллельный анализ в четырёх отделах и заключение договора. Для этапа 4 детализированы получение разрешительной документации, обеспечение материалами, выполнение работ подрядчиком и промежуточный контроль. Для этапа 5 раскрыты организация приёмки, параллельная оценка экономическим, юридическим отделами и отделом качества, подписание акта или устранение недостатков. Для этапа 6 детализированы периодические осмотры, регламентные работы, юридическая квалификация недостатков, устранение собственными силами или подрядчиком. Для этапа 7 представлены параллельные потоки анализа недостатков по семи направлениям, оценка подрядчика, разработка корректирующих действий и внедрение улучшений.

3. Разработана иерархическая математическая модель многокритериальной оценки подрядчиков, базирующаяся на системе из 7

категорий и 21 показателя, отражающих технические, организационные и риск-ориентированные аспекты взаимодействия. Предложенный алгоритм расчёта интегрального показателя и последующая классификация подрядчиков по четырём рейтинговым группам (А, В, С, D) позволяют формализовать процесс выбора исполнителя и жёстко привязать его к регламентированным управленческим решениям – от приоритетного привлечения до исключения из базы потенциальных поставщиков. Данная модель интегрирована в разработанную процессную BPMN-модель (этап 3) в качестве обязательного аналитического шлюза, что снижает субъективизм закупочных процедур, минимизирует риски недобросовестного демпинга и закладывает математический фундамент превентивного управления качеством на стадии формирования цепочек поставок.

4. На основе процессной модели разработан комплекс показателей оценки выполнения процессов строительного проекта с применением аутсорсинга: 28 поэтапных показателей качества (Приложение 3), 6 показателей результативности использования ресурсов (таблица 2.9) и 21 показатель оценки подрядчиков (Приложение 2); показатель соблюдения сроков не требует отдельных частных показателей – он рассчитывается по фактическим и плановым срокам всех задач каждого этапа и сквозным образом характеризует весь процесс (п. 2.3.4). Разработанная система показателей обеспечивает прозрачность, автоматизированный мониторинг и адаптацию под специфику строительных проектов.

5. Разработанная математическая модель комплексной оценки результативности процесса (п. 2.3) обеспечивает возможность количественной оценки как всего процесса в целом, так и отдельных его этапов, что позволяет идентифицировать «узкие места» и оперативно реагировать на отклонения. Предложенный подход отличается гибкостью (все весовые коэффициенты и функции нормирования могут настраиваться под стратегические приоритеты компании и тип проекта), прозрачностью (каждый уровень агрегации легко декомпозируется для выявления причин отклонений) и ориентацией на

улучшения (позволяет количественно оценивать результативность корректирующих действий). Модель интегрирует оценку качества, сроков, результативности использования ресурсов и рискоустойчивости, что соответствует принципам всеобщего управления качеством (TQM) и риск-ориентированного мышления, заложенным в стандарте ISO 9001 [27].

6. Разработанная процессная модель, система показателей и математическая модель оценки качества создают теоретическую и методическую основу для результативного управления процессами реализации строительных проектов с применением аутсорсинга. Результаты второй главы могут быть использованы для стандартизации процессов строительной организации, автоматизации контроля качества, обучения персонала, обоснованного выбора между выполнением работ собственными силами и привлечением подрядчика, а также для постоянного улучшения деятельности на основе её комплексной количественной оценки.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ И АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ

3.1 Исследование организационного процесса реализации строительного проекта методом FMEA

3.1.1 Цели и задачи применения FMEA в управлении строительным проектом

Для системного выявления и оценки рисков процесса реализации строительного проекта в настоящем исследовании применяется метод анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis) в соответствии с руководством AIAG-VDA [96] и национальным стандартом ГОСТ Р 27.303-2021 [14]. Выбор данного метода обусловлен следующими причинами.

1. FMEA является отраслевым стандартом в автомобилестроении, рекомендован к применению стандартом IATF 16949:2016 [100] и успешно адаптируется для других отраслей, в том числе для строительства [93, 106].

2. Метод позволяет системно выявить потенциальные виды отказов процесса, оценить их риски и разработать приоритетные корректирующие действия.

3. FMEA обеспечивает документирование знаний и опыта, что особенно важно для строительных организаций, где каждый проект уникален и накопленный опыт может быть использован в будущем.

4. Методология соответствует принципам риск-ориентированного мышления, заложенным в стандарте ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [27], и относится к базовым технологиям оценки риска по ГОСТ Р 58771-2019 [21].

Объектом исследования в рамках данного раздела является организационный процесс реализации строительного проекта, описанный процессной моделью главы 2 (п. 2.1), с особым вниманием к этапу 3 «Поиск подрядчика и заключение договора» как ключевому для управления качеством

аутсорсинга. Предмет исследования – методы обеспечения качества процесса с применением риск-ориентированного подхода. Результатом раздела являются рисконасыщенность организационного процесса и показатель его рискоустойчивости $R_{\text{общ}}$, используемый в математической модели главы 2.

3.1.2 Адаптация методологии FMEA для строительной деятельности

Классическая методология FMEA, разработанная для автомобильной промышленности, требует адаптации применительно к строительной деятельности, что обусловлено следующими особенностями [93, 106]:

- уникальность каждого проекта – в отличие от серийного производства, где процессы повторяются, в строительстве каждый проект имеет свои уникальные условия, что затрудняет использование стандартных шаблонов оценки рисков;

- высокая степень кооперации – в строительном проекте участвуют десятки организаций (заказчик, проектировщик, генподрядчик, субподрядчики, поставщики), что создаёт дополнительные риски на стыках ответственности;

- длительный жизненный цикл – строительный проект может длиться от нескольких месяцев до нескольких лет, в течение которых риски могут многократно изменяться;

- жёсткие регуляторные требования – строительная деятельность требует членства в саморегулируемых организациях (СРО), сертификации и подлежит постоянному надзору со стороны государственных органов (Ростехнадзор, МЧС, Роспотребнадзор и др.) [29];

- высокая стоимость ошибки – ошибка при выборе подрядчика может привести к многомиллионным убыткам, срыву сроков, судебным спорам и даже угрозе жизни и здоровью людей [47].

В рамках методологии FMEA оценка риска производится по трём параметрам [14, 96]:

– S (Severity) – значимость последствий – оценка степени влияния отказа на потребителя (внутреннего или внешнего), процесс и конечный результат. Шкала от 1 до 10, где 10 – катастрофические последствия (угроза жизни, неотвратимые санкции), 1 – отсутствие последствий;

– O (Occurrence) – вероятность возникновения – оценка вероятности возникновения причины отказа. Шкала от 1 до 10, где 10 – очень высокая вероятность (отказ происходит почти неизбежно), 1 – очень низкая вероятность;

– D (Detection) – вероятность обнаружения – оценка вероятности обнаружения отказа или его причины до того, как он приведёт к негативным последствиям. Шкала от 1 до 10, где 10 – невозможность обнаружения, 1 – почти наверняка будет обнаружено.

Классический метод оценки риска использует приоритетное число риска (ПЧР), рассчитываемое как произведение трёх параметров [15, 96]:

$$\text{ПЧР} = S \cdot O \cdot D, \quad (3.1)$$

где ПЧР может принимать значения от 1 до 1000. Чем выше ПЧР, тем выше приоритет разработки корректирующих действий. В терминах главы 2 ПЧР, вычисленное для одной причины отказа, есть число риска причины ЧРП (формула (2.14)); далее в главе используется обозначение ПЧР.

В руководстве AIAG-VDA [96] также предлагается альтернативный метод – приоритет действий (AP – Action Priority), который использует таблицы для определения уровня приоритета (высокий, средний, низкий) на основе комбинаций оценок S, O и D; проблемы приоритизации риска по ПЧР и AP рассмотрены в [65]. В настоящем исследовании для наглядности и совместимости с традиционными подходами используется классический метод ПЧР, а для интерпретации результатов – шкала приоритетов в соответствии с таблицей 3.1.

Таблица 3.1 – Шкала приоритетов корректирующих действий на основе ПЧР

Диапазон ПЧР	Уровень приоритета	Рекомендуемые действия
200 – 1000	Высокий (High)	Обязательная разработка и внедрение корректирующих действий в приоритетном порядке
100 – 199	Средний (Medium)	Разработка корректирующих действий в плановом порядке

Диапазон ПЧР	Уровень приоритета	Рекомендуемые действия
1 – 99	Низкий (Low)	Корректирующие действия разрабатываются по усмотрению, возможен мониторинг

В таблице 3.2 представлены переработанные с учётом специфики строительных проектов критерии оценки значимости последствий (S) и вероятности обнаружения (D), применяемые при анализе рисков процесса выбора подрядчика. Принципы адаптации шкал изложены в п. 2.3.6: акцент смещён с отказа элемента на отказ операции или этапа процесса, шкала S увязана с последствиями для сроков, бюджета, безопасности и эксплуатационной пригодности объекта, шкала D – с результативностью входного, операционного и приёмочного контроля.

Таблица 3.2 – Критерии оценки параметров S и D для FMEA процесса выбора подрядчика в строительстве

Балл	Последствие (S)	Критерии: значимость последствий	Вероятность обнаружения (D)	Критерии: вероятность обнаружения ошибки / меры управления
10	Несоблюдение требований безопасности и/или законодательства	Выбор подрядчика, чья деятельность может привести к нарушению требований безопасности, экологических норм или законодательства РФ. Угроза жизни/здоровью, неотвратимые санкции.	Невозможно обнаружить	Нет мер контроля процесса. Ошибка не обнаруживается на последующих этапах. Решение единоличное, сразу переходит к договору.
9	Несоблюдение требований безопасности и/или законодательства	Выбор подрядчика, чья деятельность может привести к нарушению требований безопасности, экологических норм или законодательства РФ без угрозы жизни и здоровью людей	Маловероятно обнаружить на любой стадии	Контроль случайный или эпизодический (руководитель иногда просматривает итоговый список). Нет формальных критериев проверки.
8	Срыв проекта или потеря основной функции	Выбор подрядчика привёл к полной остановке проекта, необходимости перезапуска или неспособности выполнить контракт. Срыв сроков 15–30 %, значительные финансовые потери.	Проблема обнаруживается после процесса	Ошибка обнаруживается ответственным лицом (руководитель отдела) после завершения этапа, но без возможности легко отменить запущенные действия.
7	Срыв проекта или потеря основной функции	Выбор подрядчика привёл к ухудшению параметров проекта: срыв ключевых этапов (задержка < 15 %), увеличение бюджета >15 %.	Проблема обнаруживается в её источнике	Ошибка обнаруживается сотрудником, допустившим её, на следующем шаге этапа при самопроверке или с помощью простых ручных средств (сверка с ТЗ, чек-лист).
6	Потеря или ухудшение функции	Выбор подрядчика привёл к тому, что дополнительные, но важные функции не выполняются или выполняются с недостатками.	Проблема обнаруживается после процесса	Ошибка обнаруживается при последующем контроле (юрист, экономист) после этапа отбора. Требуется возврат на предыдущие этапы.
5	Потеря или ухудшение функции	Выбор подрядчика привёл к ухудшению качества выполнения дополнительных	Проблема обнаруживается в её источнике	Ошибка обнаруживается сотрудником на том же этапе с помощью формализованных

Балл	Последствие (S)	Критерии: значимость последствий	Вероятность обнаружения (D)	Критерии: вероятность обнаружения ошибки / меры управления
		функций (задержки документации, низкое качество сервиса).		методов: чек-лист, проверка по открытым источникам.
4	Репутационные издержки	Результаты работы подрядчика не соответствуют ожиданиям ключевых заинтересованных сторон (>75 %). Требуется публичных разъяснений, извинений или корректирующих действий.	Проблема обнаруживается после процесса автоматически	Обнаружение автоматизированным средством (CRM, СЭД) после завершения этапа. Система выявляет несоответствие, блокирует переход и отправляет уведомление.
3	Репутационные издержки	Результаты работы подрядчика не соответствуют ожиданиям многих заинтересованных сторон (~50 %). Вызывает недовольство, требует управления ожиданиями.	Проблема обнаруживается в источнике автоматически	Обнаружение ошибки в момент возникновения автоматизированной системой. Интеграция с ЕГРЮЛ подсвечивает ликвидацию компании.
2	Репутационные издержки	Незначительные замечания к работе подрядчика. Заметны только «разборчивому» заказчику (<25 % заинтересованных сторон).	Обнаружение ошибки и предотвращение проблемы	Ошибка обнаруживается автоматически на этапе ввода, и система предотвращает дальнейшие действия (блокировка выбора из стоп-листа).
1	Нет последствий	Ошибки на этапе выбора подрядчика не привели к негативным последствиям.	Обнаружение не применимо	Ошибка полностью исключена.

Критерии оценки вероятности возникновения (O) адаптированы на основе стандартных рекомендаций FMEA с учётом специфики строительных закупочных процессов. В таблице 3.3 приведена шкала для параметра O.

Таблица 3.3 – Критерии оценки вероятности возникновения (O) для FMEA процесса выбора подрядчика в строительстве

Балл	Вероятность возникновения	Описание	Ожидаемая частота
10	Очень высокая	Отказ практически неизбежен. Отсутствуют какие-либо меры предупреждения.	≥ 1 раз в 1 проект
9	Очень высокая	Отказ происходит почти всегда при определённых условиях. Меры предупреждения отсутствуют или нерезультативны.	~1 раз в 2 проекта
8	Высокая	Отказ происходит часто. Меры предупреждения недостаточны.	~1 раз в 3–4 проекта
7	Высокая	Отказ происходит регулярно. Меры предупреждения частично результативны.	~1 раз в 5–6 проектов
6	Средняя	Отказ происходит время от времени. Существуют меры предупреждения, но их результативность не подтверждена.	~1 раз в 7–8 проектов
5	Средняя	Отказ происходит редко. Меры предупреждения имеются и частично работают.	~1 раз в 9–10 проектов
4	Низкая	Отказ происходит в единичных случаях. Меры предупреждения разработаны и применяются.	~1 раз в 11–15 проектов
3	Очень низкая	Отказ происходит исключительно редко. Результативные меры предупреждения документированы и соблюдаются.	~1 раз в 16–20 проектов
2	Очень низкая	Отказ практически исключён. Многократно проверенные меры предупреждения.	~1 раз в >20 проектов
1	Почти наверняка	Отказ полностью исключён. Меры предупреждения встроены в процесс и автоматизированы.	0

3.1.3 FMEA организационного процесса верхнего уровня

FMEA-анализ выполнен для всех семи этапов процессной модели (п. 2.1). Анализ проводился межфункциональной группой в составе руководителя проекта, представителей отдела качества, экономического, юридического и технического отделов и отдела закупок. Для каждого этапа по диаграммам второго уровня (п. 2.1.3, Приложение 1) выявлены потенциальные отказы; для каждого отказа определена ведущая причина, оценены ранги S, O, D по адаптированным шкалам (таблицы 3.2, 3.3) и рассчитано ПЧР. Всего выявлено 29 отказов. Рабочий протокол FMEA приведён в таблице 3.4 в сокращённой форме; расширенный протокол с описанием последствий отказов, действующих мер предупреждения и обнаружения приведён в Приложении 7. Развёрнутые протоколы по операциям этапа 3 с несколькими причинами на отказ, выполненные на пилотной стадии анализа и послужившие основой для адаптации шкал, приведены в Приложении 5.

Таблица 3.4 – Фрагмент протокола FMEA организационного процесса реализации строительного проекта (до внедрения корректирующих действий; расширенный протокол – Приложение 7)

№	Отказ	Ведущая причина	S	O	D	ПЧР
1.1	Ошибка в смете (занижение)	Неверные нормативы	9	6	4	216
1.2	Неполное ТЗ	Слабая коммуникация с заказчиком	8	7	4	224
1.3	Не учтены риски	Поверхностный анализ	8	6	5	240
1.4	Ошибка в сроках планирования	Оптимизм без резерва	9	6	4	216
2.1	Нарушение технологии	Отсутствие входного контроля	9	5	4	180
2.2	Травматизм	Непроведение инструктажа по ТБ	10	4	4	160
2.3	Простой из-за отсутствия материалов	Нет запаса на складе	8	6	4	192
2.4	Низкая производительность труда	Неквалифицированные рабочие	7	6	4	168
3.1	Устаревшие данные в базе подрядчиков	Нет актуализации	7	6	5	210
3.2	Нет исторических данных о качестве подрядчика	Не собирали KPI	8	7	6	336
3.3	Неверная интерпретация ТЗ	Нечёткое ТЗ	7	6	5	210
3.4	Некорректные критерии оценки	Устаревшая методика	8	7	5	280
3.5	Включение неподходящих кандидатов	Давление «своих»	7	6	5	210
3.6	Исключение перспективных кандидатов	Жёсткие фильтры	8	5	6	240
3.7	Нет документации отбора	Нет шаблонов	6	7	6	252
3.8	Задержка формирования списка	Перегруженность отдела	8	6	5	240
3.9	Мошеннические предложения	Нет проверки репутации	10	5	6	300

№	Отказ	Ведущая причина	S	O	D	ПЧР
3.10	Включение сомнительных подрячков	Давление сроков	9	6	5	270
4.1	Срыв графика подрячком	Нет промежуточного контроля	9	5	4	180
4.2	Низкое качество материалов подрячка	Нет входного контроля	8	5	4	160
4.3	Непроверенный субподрядчик	Нет ограничений по субподряду	8	6	5	240
4.4	Нарушение ТБ подрячком	Нет контроля со стороны заказчика	10	4	5	200
5.1	Приёмка скрытых дефектов	Формальная комиссия	8	5	3	120
5.2	Неполная документация	Нет чек-листа документов	7	6	4	168
5.3	Длительное устранение замечаний	У подрящика нет ресурсов	7	5	4	140
6.1	Частые гарантийные случаи	Скрытый брак	8	5	5	200
6.2	Отказ оборудования после ввода	Нет регламента ТО	9	4	4	144
7.1	Не внесены уроки в базу знаний	Нет ответственного	6	6	4	144
7.2	Корректирующие действия не выполнены	Нет контроля КД	7	5	4	140

По формуле (2.14) рисконасыщенность этапа RH_s определена как сумма ПЧР по всем отказам этапа без порога по величине ПЧР, рисконасыщенность процесса – как сумма по этапам (формула (2.19)); результаты приведены в таблице 3.5 (столбец «до КД»). Суммарная рисконасыщенность организационного процесса составила $RH_{общ} = 5980$ при среднем ПЧР одного отказа 206; 18 из 29 отказов имеют $ПЧР \geq 200$, т. е. относятся к высокому приоритету по таблице 3.1.

Таблица 3.5 – Рисконасыщенность организационного процесса по этапам

Этап	Число отказов	RH_s до КД	Доля, %	RH_s после КД	Снижение
1. Планирование выполнения работы	4	896	15,0	896	0
2. Выполнение работ собственными силами	4	700	11,7	700	0
3. Поиск подрячика и заключение договора	10	2548	42,6	2102	446
4. Выполнение работ по договору	4	780	13,0	780	0
5. Сдача-приёмка работ	3	428	7,2	428	0
6. Эксплуатация	2	344	5,8	344	0
7. Завершение цикла и улучшения	2	284	4,7	284	0
Итого ($RH_{общ}$)	29	5980	100	5534	446

Границы нормирования для организационного процесса заданы структурно, через число отказов (п. 2.3.6): $RH_{min,общ} = N_{отк} \cdot 125 = 3625$ (все отказы на уровне $S = O = D = 5$), $RH_{lim,общ} = N_{отк} \cdot 300 = 8700$ (все отказы в зоне высокого риска). Тогда по формулам (2.15) и (2.17): $N(RH_{общ}) = (5980 - 3625)/(8700 - 3625) = 0,464$; $R_{общ} = 1 - 0,464 = 0,536$ – уровень «средний» («жёлтая зона» по таблице 2.12). Наибольшая рисконасыщенность

– 42,6 % суммарной – приходится на этап 3 «Поиск подрядчика и заключение договора», что подтверждает вывод главы 1 о выборе подрядчика как о ключевой проблеме управления качеством при аутсорсинге.

3.1.4 Детальный анализ этапа 3 «Поиск подрядчика и заключение договора»

На основе функционального анализа процесса выбора подрядчика, детализированного в главе 2 (п. 2.1.2, Приложение 1, рисунок П1.2), выделены операции этапа 3, подлежащие FMEA-анализу. Этап включает 14 основных операций и две дополнительные операции (3.1* и 3.3*), выполняемые в отношении сторонних подрядчиков (операции 3.1 и 3.3 относятся к собственным ремонтно-строительным подразделениям):

1) 3.1 «Анализ собственной базы подрядчиков» – анализ внутренней базы данных организации для выявления потенциальных кандидатов, с которыми уже имеется опыт сотрудничества;

2) 3.1* «Анализ рынка подрядчиков» – поиск новых подрядчиков на открытом рынке через тендерные площадки, отраслевые порталы, профессиональные ассоциации;

3) 3.2 «Комплексная оценка кандидатов-поставщиков» – предварительная оценка кандидатов по системе балльной оценки (финансовая устойчивость, опыт, наличие допусков и лицензий);

4) 3.3 «Предварительные встречи с кандидатами» – предварительные встречи с кандидатами из числа собственных работников, уточнение технических заданий;

5) 3.3* «Предварительные встречи с кандидатами-подрядчиками» – проведение переговоров с внешними кандидатами, уточнение коммерческих и технических условий;

6) 3.4 «Формирование списка кандидатов для дальнейшего отбора» – объединение результатов анализа собственной базы и рынка в единый список для последующей оценки;

7) 3.5 «Личная встреча для уточнения деталей» – углублённое обсуждение условий сотрудничества с отобранными кандидатами;

8) 3.6 «Передача данных по кандидатам для анализа в отделы» – передача всех полученных от выбранных кандидатов данных в соответствующие отделы организации;

9) 3.7 «Анализ подрядчиков на соответствие внутренним требованиям по качеству» – проверка кандидатов на соответствие требованиям системы менеджмента качества организации;

10) 3.8–3.10 «Анализ в отделах» – параллельная оценка кандидатов экономическим, юридическим и техническим отделами;

11) 3.11 «Сводное заключение отделов о соответствии кандидатов» – консолидация результатов анализа всех отделов;

12) 3.12 «Заключение отделов о соответствии кандидатов» – итоговое документированное решение о выбранных кандидатах для передачи руководству организации;

13) 3.13 «Организация встречи директоров заказчика и исполнителя по результату работы комиссии» – согласование условий на уровне высшего руководства для окончательного выбора подрядчика;

14) 3.14 «Заключение договора» – юридическое оформление договорных отношений с выбранным подрядчиком.

Для этапа 3 в протоколе (таблица 3.4) зафиксировано десять отказов – наибольшее число среди этапов процесса. Распределение их ПЧР представлено на диаграмме Парето (рисунок 3.1) [39].

Как следует из рисунка 3.1, пять отказов с наибольшими ПЧР (ПЧР от 252 до 336) дают 56 % рисконасыщенности этапа; все десять отказов этапа находятся в зоне высокого приоритета (ПЧР ≥ 200). Наиболее критичным является отказ 3.2 «Нет исторических данных о качестве подрядчика» (ПЧР = 336): в организации не велась систематическая постпроектная оценка подрядчиков, поэтому при новом отборе решения принимались без учёта фактического качества ранее выполненных работ.

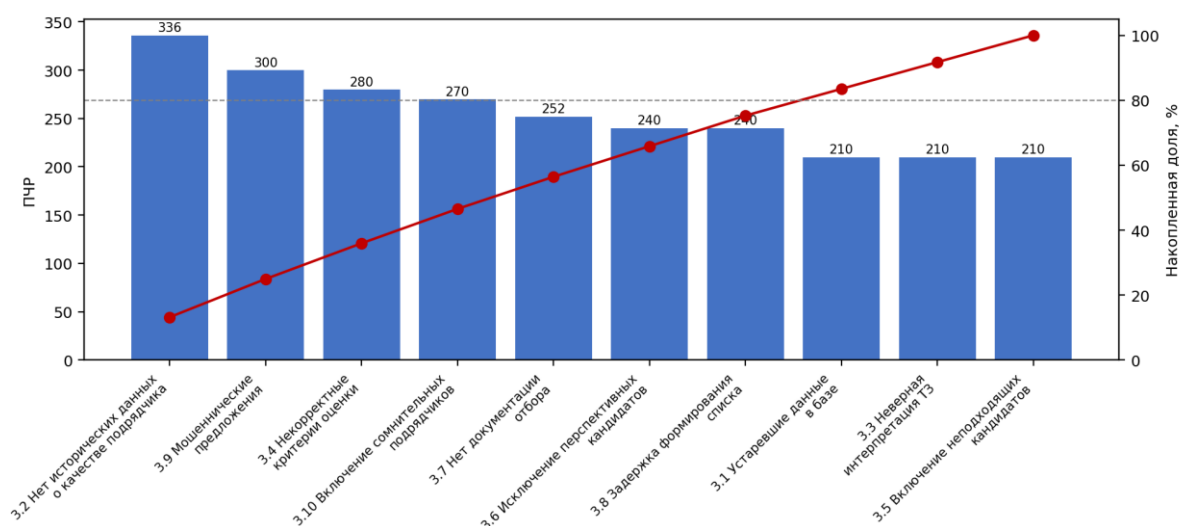


Рисунок 3.1 – Диаграмма Парето распределения рисков этапа 3 «Поиск подрядчика и заключение договора»

Для выявления коренных причин этого отказа построена причинно-следственная диаграмма Исикавы (рисунок 3.2) [39]. Причины сгруппированы по четырём направлениям: организационные (отсутствие регламента постпроектной оценки, отсутствие ответственных, отсутствие единого стандарта документооборота), информационные (данные не собирались системно, нет архива по завершённым проектам, нет интеграции с реестрами), технические (нет единой CRM с модулем оценки, устаревшее ПО, нет автоматического сбора данных) и человеческий фактор (субъективизм, ошибки заполнения, недостаточная квалификация, текучесть кадров, потеря накопленных знаний).

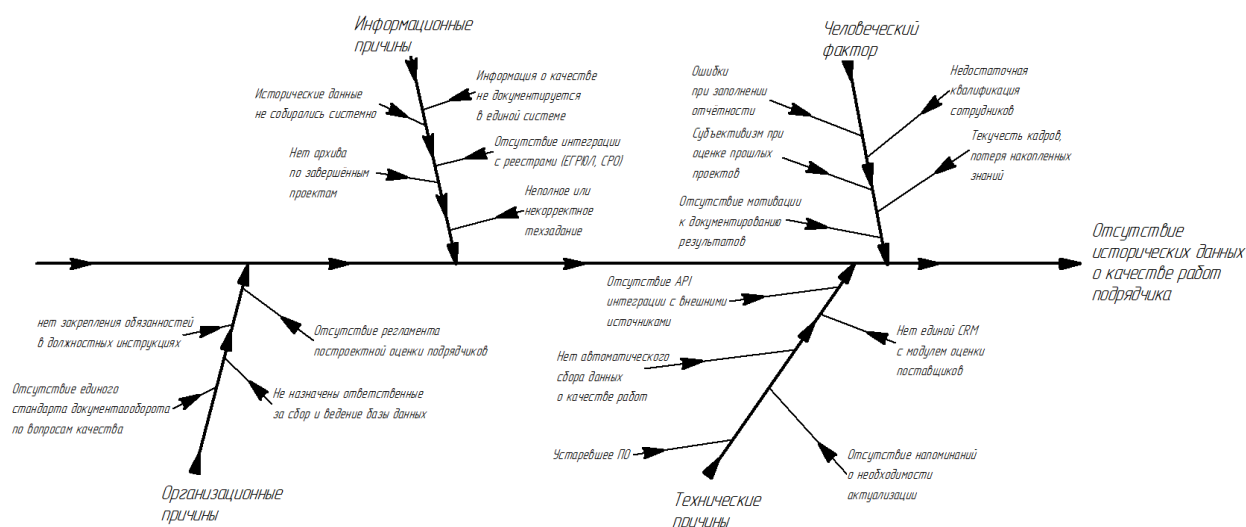


Рисунок 3.2 – Диаграмма Исикавы для отказа «Нет исторических данных о качестве подрядчика»

3.1.5 Разработка корректирующих действий

По результатам анализа корректирующие действия (КД) разработаны для пяти отказов этапа 3 с наибольшими ПЧР (≥ 250). План КД приведён в таблице 3.6; каждое действие направлено на ведущую причину отказа и снижает ранги возникновения (О) и обнаружения (D). Действия разработаны с использованием инструментария главы 2: система оценки подрядчиков (п. 2.2) закрывает отказ 3.4, постпроектная оценка подрядчика (этап 7 процессной модели) – отказ 3.2.

Таблица 3.6 – План корректирующих действий по результатам FMEA организационного процесса

№ отказа	Отказ	Ведущая причина	Корректирующие действия	Ответственный	Срок	Показатель результативности
3.2	Нет исторических данных о качестве подрядчика	KPI по завершённым проектам не собирались	Обязательная постпроектная оценка подрядчика (KPI: сроки, качество, бюджет); форма оценки привязана к закрытию проекта в системе управления проектами	Руководитель проекта, отдел качества	2 месяца	≥ 90 % закрытых проектов с заполненной формой
3.4	Некорректные критерии оценки	Устаревшая методика; отделы используют разные критерии	Утверждённая методика оценки подрядчиков по 7 категориям и 21 показателю с весами (п. 2.2); единые шаблоны заключений отделов; обучение оценщиков	Отдел качества, отдел закупок	1 месяц	100 % тендеров с заполненной матрицей оценки
3.7	Нет документации отбора	Нет шаблонов протоколов и требований к документированию решений	Электронный документооборот с обязательными полями протокола отбора; автоматическая проверка полноты заполнения	Отдел закупок, IT-отдел	1 месяц	100 % тендеров с заполненным протоколом
3.9	Мошеннические предложения	Нет проверки репутации кандидатов	Обязательная проверка кандидатов через СПАРК / Контур.Фокус; интеграция CRM с ЕГРЮЛ/ФНС; стоп-лист	IT-отдел, юридический отдел	3 месяца	100 % кандидатов проверены до допуска к оценке
3.10	Включение сомнительных подрядчиков	Давление сроков при формировании списка	КУС-процедура с участием службы безопасности; чек-лист проверки (допуски СРО, лицензии, судебные споры, банкротство)	Служба безопасности, юридический отдел	2 месяца	0 кандидатов, допущенных без КУС

Следует подчеркнуть, что в соответствии с решением руководства организации корректирующие действия предложены и рекомендованы к внедрению; на момент завершения исследования продолжается внедрение

некоторых КД (см. п. 3.1.7), поэтому далее оценивается их ожидаемая результативность по повторной экспертной оценке рангов.

3.1.6 Оценка результативности корректирующих действий

Повторная оценка рангов О и D после внедрения КД выполнена той же межфункциональной группой по шкалам таблиц 3.2 и 3.3; ранг значимости S не изменяется, поскольку корректирующие действия направлены на причины отказов, а не на их последствия. Результаты приведены в таблице 3.7 и на рисунке 3.3.

Таблица 3.7 – Результативность корректирующих действий по отказам этапа 3

№ отказа	Отказ	О до → после	D до → после	ПЧР до	ПЧР после	Снижение, %
3.2	Нет исторических данных о качестве подрядчика	7 → 6	6 → 5	336	240	28,6
3.4	Некорректные критерии оценки	7 → 6	5 → 4	280	192	31,4
3.7	Нет документации отбора	7 → 6	6 → 5	252	180	28,6
3.9	Мошеннические предложения	5 → 4	6 → 5	300	200	33,3
3.10	Включение сомнительных подрядчиков	6 → 5	5 → 4	270	180	33,3
Итого по пяти отказам				1438	992	31,0

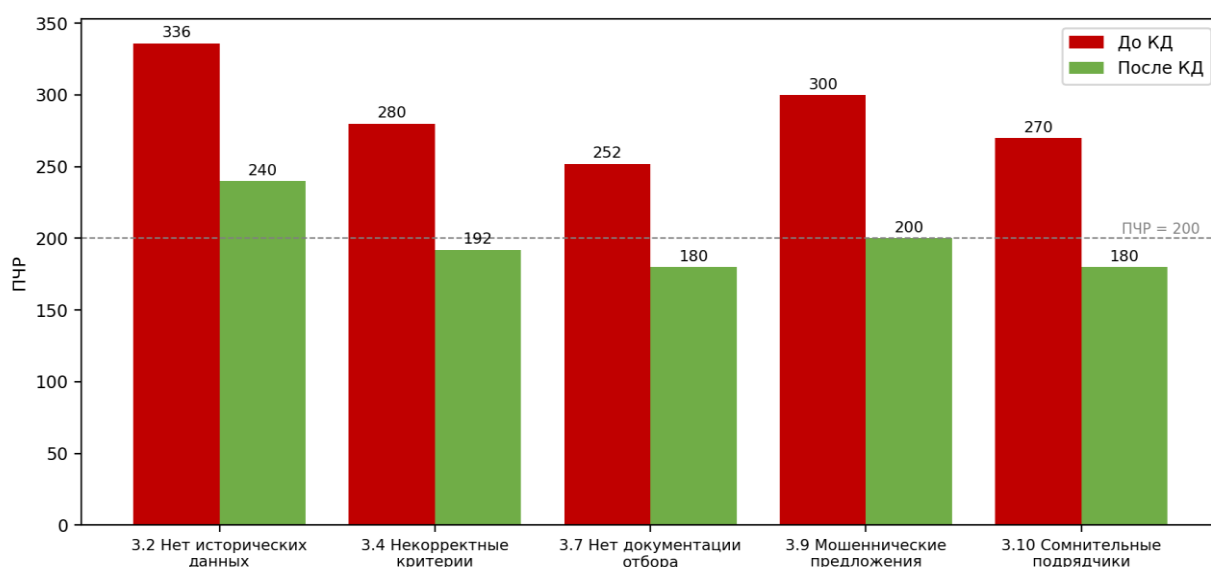


Рисунок 3.3 – Сравнение ПЧР до и после внедрения корректирующих действий

Рисконасыщенность этапа 3 снизилась с 2548 до 2102 (на 17,5 %), суммарная рисконасыщенность организационного процесса – с 5980 до 5534 (на 7,5 %); три из пяти отказов вышли из зоны высокого приоритета. По

формулам (2.15), (2.17) после внедрения КД $N(RH_{\text{общ}}) = (5534 - 3625) / (8700 - 3625) = 0,376$, $R_{\text{общ}} = 0,624$ – уровень «средний», верхняя часть зоны. Дальнейшее снижение рисконасыщенности требует корректирующих действий по этапам 1 и 4 (ошибки планирования, контроль подрядчика при выполнении работ), которые по величине RH_s следуют за этапом 3 (таблица 3.5).

3.1.7 Интеграция результатов FMEA в систему менеджмента качества строительной организации

Для закрепления результатов FMEA-анализа в системе менеджмента качества строительной организации [19, 27] предложены следующие направления.

1. Стандартизация процессов. На основе выявленных рисков и разработанных корректирующих действий предложено обновить внутренние нормативные документы: регламент актуализации базы данных подрядчиков; стандарт организации «Управление закупками и выбором подрядчиков»; матрицу оценки подрядчиков (по 7 категориям и 21 показателю); форму постпроектной оценки подрядчика; шаблон протокола отбора подрядчика; чек-листы проверки документов для каждого отдела.

2. Автоматизация процессов. Рекомендованы единая CRM-система для управления базой подрядчиков; интеграция с ЕГРЮЛ/ФНС/СПАРК для автоматической проверки реквизитов; автоматические напоминания о необходимости актуализации данных; автоматическая проверка полноты заполнения протоколов и матриц оценки.

3. Обучение персонала: тренинги по работе с матрицей оценки подрядчиков; инструктаж по заполнению постпроектных форм оценки; разъяснительная работа о важности документирования результатов.

4. Мотивация персонала: включение показателя «качество заполнения документации» в KPI сотрудников; бонусы за полноту и своевременность заполнения постпроектных форм.

5. Мониторинг и постоянное улучшение: ежеквартальный аудит базы данных подрядчиков; ежеквартальный пересмотр матрицы оценки (при необходимости – корректировка весов); ежегодное обновление регламентов на основе накопленной статистики; повторный FMEA-анализ при изменении процесса закупок.

Результаты FMEA-анализа непосредственно связаны с системой оценки подрядчиков главы 2 (п. 2.2): матрица оценки разработана с учётом выявленных рисков субъективной оценки, неполного анализа документов и несогласованности критериев между отделами; постпроектная оценка подрядчика (этап 7 модели) является источником исторических данных для показателя надёжности подрядчика; интегральная оценка подрядчика B (формула (2.2)) используется на операции 3.11 «Сводное заключение отделов о соответствии кандидатов» для принятия решения о допуске к переговорам, рекомендуемый порог допуска – $B \geq 75$ баллов (рейтинг А или В). Внедрение указанных мер в организациях, на данных которых выполнено исследование, начато и продолжается; результаты внедрения подтверждены актами внедрения (Приложение 10).

3.1.8 Упрощённая методика оценки риска технологических процессов на основе FMEA

Классический FMEA требует идентификации всех возможных отказов для каждой операции, каждой причины и каждого эффекта. В строительном проекте с десятками видов работ и сотнями потенциальных дефектов такой анализ становится чрезмерно трудоёмким – время на его проведение превышает длительность самого проекта. Кроме того, многие отказы имеют ничтожную вероятность или незначительные последствия, и их детальная проработка не влияет на итоговую оценку R [106].

Предлагается следующий подход для сокращения времени оценки рисконасыщенности технологических процессов строительных проектов на основе FMEA.

1. Типологизация технологических операций – все возможные операции строительного производства разбиваются на типовые классы (например: бетонные работы, арматурные работы, опалубочные работы, монтаж металлоконструкций, устройство кровли, прокладка инженерных сетей и т. д.). Для каждого класса разрабатывается стандартный чек-лист отказов.

2. Применение чек-листа к проекту – для каждой операции техпроцесса данного проекта определяется её класс, и к ней применяется соответствующий чек-лист. Если операция не попадает ни в один типовой класс (уникальная технология), проводится полный FMEA по этой операции (допускается не более 2–3 таких операций на проект).

3. Агрегация – рисконасыщенность всего техпроцесса рассчитывается как сумма РН по всем операциям (без усреднения) по формуле (2.20).

Каждый чек-лист содержит ограниченный набор (10–15) наиболее критичных отказов, характерных для данного класса. Для каждого отказа указываются описание отказа, типичная причина, ранги S, O, D (предварительно установленные экспертно на основе статистики и пересматриваемые ежегодно) и ПЧР по формуле (3.1). При оценке конкретного проекта разрешается корректировать ранги не более чем на ± 1 при наличии обоснованных проектных особенностей (записывается в протоколе).

Тем самым чек-лист фиксирует типовые риски (отказы) класса работ, а сопоставленные каждому отказу типовые причины и апробированные меры предупреждения образуют реестр типовых решений. Пара «типовой риск – типовое решение» является элементом стандартизации: она переводит оценку рисков технологических процессов из области разовых экспертных суждений в область воспроизводимых, документированных процедур и обеспечивает накопление базы знаний организации.

В таблице 3.8 приведён перечень типовых отказов для класса «Общестроительные работы» (соответствует этапу 2 организационной модели, но может применяться к любой аналогичной операции техпроцесса).

Чек-лист составлен на основе накопленной статистики отказов по завершённым проектам организации и утверждён её техническим руководством. Примечания к чек-листу приведены в Приложении 6.

Таблица 3.8 – Пример чек-листа для класса «Общестроительные работы»

№	Отказ	Типичная причина	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>D</i>	ЧРП
1	Нарушение технологии бетонирования (неправильная укладка, вибрация)	Отсутствие входного контроля смеси, низкая квалификация рабочих	8	4	5	160
2	Несоблюдение техники безопасности (отсутствие ограждений, страховки)	Отсутствие инструктажа, экономия на СИЗ	9	3	6	162
3	Отставание от графика на >10 % (по этапу)	Недостаток рабочих, несвоевременная подача материалов	6	5	4	120
4	Дефекты арматурного каркаса (недостаточное количество стержней, ошибки в вязке)	Ошибка в проекте или его неверная интерпретация	7	2	5	70
5	Недостаточная толщина защитного слоя бетона	Отсутствие фиксаторов, небрежность при укладке	6	4	5	120
6	Протечки в конструкциях после дождя (незакрытые технологические отверстия)	Нарушение графика герметизации	5	6	4	120
7	Повреждение инженерных коммуникаций при производстве работ	Отсутствие схем прокладки, неоформленный наряд-допуск	8	3	5	120
8	Некачественная сварка металлоконструкций (непровар, трещины)	Низкая квалификация сварщиков, отсутствие контроля	9	4	5	180
9	Заливка бетона при отрицательной температуре без противоморозных добавок	Нарушение технологии, экономия материалов	8	3	6	144
10	Разрушение опалубки при заливке	Использование изношенной опалубки, превышение темпа бетонирования	7	4	5	140
11	Отклонение геометрических размеров (отверстий, осей) более допуска	Отсутствие геодезического контроля, разбивка «на глаз»	7	5	4	140
12	Укладка бетона с расслоением (сегрегация)	Слишком большая высота сброса, отсутствие вибрации	6	4	5	120
13	Отсутствие журнала бетонных работ и актов освидетельствования	Нарушение документооборота, низкая дисциплина	4	6	3	72
14	Травма рабочего (падение с высоты, поражение током)	Отсутствие ограждений, неисправное оборудование	10	2	4	80
15	Повреждение готовой конструкции при последующих работах	Отсутствие защиты, несогласованность бригад	6	5	5	150

Для реализации упрощённого подхода необходим регламент, представленный в таблицах 3.9 и 3.10.

Таблица 3.9 – Периодичность выполнения операций по оценке техпроцесса

Действие	Периодичность	Основание
Разработка и актуализация чек-листов для каждого типового класса работ	Не реже одного раза в год, а также при накоплении новых данных по 5 и более завершённым проектам	Обеспечение репрезентативности и отражение реальной статистики отказов
Применение чек-листов к конкретному проекту (заполнение, идентификация отказов, корректировка рангов)	Однократно на этапе планирования (после утверждения проекта производства работ)	Результаты используются для расчёта $R_{\text{техн}}$ и планирования мер реагирования

Действие	Периодичность	Основание
Пересмотр оценок в ходе проекта (при существенном изменении технологии, замене подрядчика, возникновении новых рисков)	По факту наступления событий (изменение проектных решений, аварии, предписания надзора)	Не допускается «замораживание» устаревшей оценки рисков
Итоговая верификация заполненных чек-листов после завершения проекта	Не позднее 30 дней после окончания работ по техпроцессу	Сравнение прогнозных рисков с фактически реализовавшимися – для актуализации чек-листов
Аудит корректности применения чек-листов (выборочная проверка проектов)	Ежеквартально (не менее 10 % завершённых проектов за период)	Контроль качества выполнения процедуры

Таблица 3.10 – Распределение ролей и ответственности по оценке техпроцесса

Роль	Ответственность	Ключевые действия
Отдел качества (методолог)	Разработка, актуализация и утверждение типовых чек-листов	– Сбор статистики отказов по завершённым проектам – Расчёт $R_{H_{min}}$ и $R_{H_{lim}}$ – Проведение ежегодной экспертной сессии по пересмотру чек-листов – Обучение проектных команд работе с чек-листами
Руководитель проекта (РП)	Организация применения чек-листов для своего проекта, полнота заполнения	– Назначение ответственного за заполнение чек-листов по каждой операции – Подпись протокола оценки рисков – Инициирование пересмотра при изменении техпроцесса
Инженер ПТО или главный специалист по направлению	Содержательное заполнение чек-листа (выбор отказов, корректировка рангов)	– Для каждой операции техпроцесса идентификация применимых отказов из чек-листа – Обоснованное изменение S, O, D при наличии проектных особенностей (с записью причины) – Добавление специфических отказов (не более 5 на проект)
Риск-менеджер (или руководитель проекта совместно с отделом качества при его отсутствии)	Расчёт $R_{H_{техн}}$, $R_{техн}$ и их интеграция в общий показатель R	– Агрегация $R_{H_{опер}}$ по операциям; – Нормирование по формулам (с использованием $R_{H_{min}}$, $R_{H_{lim}}$); – Подготовка отчёта $R_{техн}$ для РП и отдела качества.
Технический совет / главный инженер	Утверждение корректировок рангов, выходящих за пределы ± 1 , и введение новых чек-листов	– Рассмотрение заявок на изменение рангов более чем на 1 – Утверждение чек-листов для новых (нестандартных) классов работ
Отдел аудита (или внутренний контроль)	Выборочная проверка качества выполнения процедуры	– Аудит не менее 10 % проектов (полнота заполнения, обоснованность корректировок) – Формирование отчёта о несоответствиях

Результаты применения чек-листов оформляются в виде протокола оценки рисков техпроцесса (унифицированная форма на основе протокола FMEA). Протокол должен содержать: перечень всех операций техпроцесса с указанием их класса; для каждой операции – список выбранных отказов с исходными и (если применимо) скорректированными рангами; обоснование

корректировок рангов (ссылка на особенности проекта); фактически рассчитанные ПЧР, $RH_{\text{опер}}$, $RH_{\text{техн}}$; подписи руководителя проекта и инженера, заполнявшего чек-лист. Протокол хранится в электронном архиве проекта и предоставляется при аудитах; срок хранения – не менее 5 лет после завершения проекта.

Для мониторинга внедрения упрощённого FMEA используются ключевые показатели, приведённые в таблице 3.11 (оцениваются ежеквартально).

Таблица 3.11 – Ключевые показатели результативности упрощённой методики оценки рисков

Метрика	Целевое значение	Формула / источник
Доля проектов, по которым заполнен протокол оценки рисков техпроцесса	100%	Отношение числа проектов с протоколом к общему числу завершённых проектов
Среднее время заполнения чек-листа на одну операцию	≤ 20 минут	Данные тайм-трекинга (или опрос)
Доля корректировок рангов более чем на ±1	≤ 5 % от общего числа применённых отказов	Анализ протоколов
Совпадение прогнозных отказов (из чек-листа) с фактическими отказами в проекте	≥ 70%	Постпроектный анализ (по завершении проекта сравнить, какие отказы из чек-листа реализовались)
Количество доработок чек-листа по итогам аудита	0	Данные отдела качества

Предлагаемый порядок оценки интегрируется в СМК организации в виде отдельной документированной процедуры «Оценка рисков технологических процессов с использованием чек-листов», регламентирующей порядок разработки, согласования и утверждения чек-листов; права и обязанности участников процесса; шаблоны протоколов; порядок хранения и доступа к данным. Данный регламент позволяет перейти от эпизодического, трудоёмкого FMEA к систематическому, стандартизованному и контролируемому процессу оценки рисков для каждого строительного проекта. При этом сохраняется гибкость для учёта уникальных особенностей технологии, а нагрузка на проектную команду снижается до практически приемлемого уровня (в среднем 1–2 часа на проект среднего размера).

Ожидаемый эффект от внедрения предложенного подхода: трудоёмкость анализа снижается в 5–7 раз по сравнению с полным FMEA для

каждой операции; достигается воспроизводимость – разные проектные команды получают сопоставимые оценки для одинаковых типов работ; появляется возможность автоматизированного расчёта – чек-листы могут быть реализованы в виде электронных форм в корпоративной системе с автоматическим подсчётом $RH_{\text{техн}}$.

За проведение оценки рисков проекта отвечают руководитель проекта, отдел качества, экономический и юридический отделы, технические службы; анализ проводится межфункциональной группой. За расчёт интегрального показателя отвечает отдел качества.

3.1.9 FMEA технологических процессов проектов

По упрощённой методике п. 3.1.8 выполнен FMEA-анализ технологических процессов десяти ремонтно-строительных проектов ООО «СМИТ»: шести проектов, выполненных до внедрения корректирующих действий (группа «до»), и четырёх проектов, выполненных после внедрения КД (группа «после»). Проекты групп сопоставимы по объёму (0,4–2,7 млн руб., 15–55 дней) и видам работ (ремонт асфальтового покрытия, ремонт мягкой кровли, устройство ограждений, электромонтажные и сантехнические работы). Для каждого проекта техпроцесс разбит на 7–8 операций, к каждой применён чек-лист соответствующего класса; рисконасыщенность операции получена суммированием ПЧР выбранных отказов, рисконасыщенность техпроцесса – суммированием по операциям (формула (2.20)). Сводные результаты приведены в таблице 3.12; протоколы по операциям – в Приложении 8 (для проекта «Щитовая» – полностью, для остальных – в сводной форме).

Таблица 3.12 – Рисконасыщенность технологических процессов проектов

№	Проект	Группа	Число операций	Число отказов	$RH_{\text{техн}}$	Наиболее рисконасыщенная операция ($RH_{\text{опер}}$)
1	Техническое перевооружение электрощитовой («Щитовая»)	до	7	26	3500	Монтаж щитов (640)
2	Ремонт асфальтового покрытия проездов («Асфальт»)	до	7	20	2762	Укладка смеси (560)

№	Проект	Группа	Число операций	Число отказов	РН _{техн}	Наиболее рисконасыщенная операция (РН _{опер})
3	Ограждение территории из профнастила («Профнастил»)	до	7	20	2852	Монтаж прогонов, сварка (600)
4	Капитальный ремонт участка теплотрассы («Теплотрасса»)	до	8	28	4400	Сварка стыков (780)
5	Ремонт мягкой кровли, здание 1 («Кровля-1»)	до	7	26	4036	Устройство примыканий и воронок (660)
6	Прокладка ливневой канализации («Ливнёвка»)	до	7	24	3296	Земляные работы (700)
7	Ямочный ремонт асфальтового покрытия («Асфальт-2»)	после	7	20	2450	Укладка смеси (500)
8	Ремонт мягкой кровли, здание 2 («Кровля-2»)	после	7	26	3500	Наплавление нижнего слоя (560)
9	Обустройство ограждения из профлиста («Профлист-2»)	после	7	20	2500	Монтаж прогонов, сварка (520)
10	Замена вводного кабеля («Кабель»)	после	7	22	3130	Прокладка трассы (570)

Для проектов группы «после» протоколы составлены по той же методике, что и для проектов «до», с сопоставлением РН операций с аналогичными операциями проектов «до» и указанием, какие ранги снижены за счёт внедрённых мер (входной контроль материалов, контрольные листы подготовки основания, пооперационный контроль, обязательные лабораторные пробы и испытания, аттестация персонала). Снижение рисконасыщенности аналогичных техпроцессов составило 10,6–13,3 %: асфальт 2762 → 2450, кровля 4036 → 3500, ограждение 2852 → 2500, электромонтаж 3500 → 3130. Наибольший эффект дали меры по обнаружению (D) на операциях контроля и приёмки – испытания проливом, лабораторный контроль смеси, протоколы электрических испытаний.

3.2 Оценка проектов по математической модели интегрального показателя результативности

3.2.1 Исходные данные и условия расчёта

Расчёт выполнен по математической модели главы 2 (формула (2.4)) для десяти проектов ООО «СМИТ», технологические процессы которых проанализированы в п. 3.1.9. Исходные данные проектов приведены в таблице 3.13; полный расчёт для проекта «Щитовая» как пример применения модели приведён в Приложении 8.

Таблица 3.13 – Исходные данные проектов

№	Проект	Группа	Длительность план/факт, дн.	Стоимость план/факт, тыс. руб.	Доля аутсорсинга, %	Гарантийный период, мес.
1	Щитовая	до	45 / 48	800 / 830	20	12
2	Асфальт	до	30 / 40	1800 / 2000	85	12
3	Профнастил	до	25 / 30	400 / 450	60	6
4	Теплотрасса	до	55 / 60	1200 / 1300	90	12
5	Кровля-1	до	40 / 45	2500 / 2700	100	12
6	Ливнёвка	до	30 / 28	600 / 590	70	12
7	Асфальт-2	после	28 / 33	2000 / 2100	70	12
8	Кровля-2	после	30 / 32	1500 / 1540	100	6
9	Профлист-2	после	35 / 36	500 / 510	5	2
10	Кабель	после	15 / 11	1000 / 1000	25	1

Правила расчёта составляющих приняты следующие.

Показатель качества Q рассчитан по этапным показателям (Приложение 3): по каждому из семи этапов выбраны три частных показателя, приведённые к шкале $[0; 1]$ функциями нормирования, построенными по нормативным уровням «цель / допустимо / критично» (п. 2.3.3); сводный показатель этапа S_k – среднее нормированных оценок ($\mu_{k,m} = 1/3$); $Q = \sum \beta_k S_k$ при $\beta_k = 1/7$. Показатели этапа 7 (полнота анализа недостатков, результативность КД, актуализация базы знаний), а также своевременность поставок и среднее время устранения замечаний характеризуют не отдельный проект, а процессы организации за период, поэтому их значения одинаковы или близки для всех проектов одной группы.

Показатель соблюдения сроков T рассчитан по формулам (2.9), (2.11): для каждой задачи фиксировано относительное отклонение факта от плана, по этапу $T_s = \exp(-\sum \max(0; \Delta t/t_{\text{план}}))$, T – среднее геометрическое T_s по семи этапам. Длительность проекта определена как сумма длительностей этапов 1, 3, 5, 7 и наибольшего из параллельных этапов 2 и 4; этап 6 (гарантийное наблюдение) в срок проекта не входит (п. 2.3.4).

Показатель результативности использования ресурсов E рассчитан по формуле (2.12) и таблице 2.10 с весами $\omega = (0,20; 0,25; 0,10; 0,15; 0,10; 0,20)$. Все проекты являются внутренними некоммерческими, поэтому вместо отдачи от использованных ресурсов (ОИР) использован предусмотренный моделью ресурсный эффект от проекта (оценённое снижение

эксплуатационных затрат, % от стоимости проекта) с той же функцией нормирования; срок возмещения использованных ресурсов оценён отношением фактического срока к плановому (п. 2.3.5).

Показатель рискоустойчивости R рассчитан по формулам (2.15)–(2.21): $R = 0,3 \cdot R_{\text{общ}} + 0,7 \cdot R_{\text{техн}}$. $R_{\text{общ}}$ принят по FMEA организационного процесса (п. 3.1.3, 3.1.6): для проектов «до» – 0,536, для проектов «после» – 0,624. $R_{\text{техн}}$ определён по рисконасыщенности техпроцесса каждого проекта (таблица 3.12) с границами нормирования $RH_{\min} = 350$ и $RH_{\lim} = 5400$, установленными экспертно по историческим данным организации о завершённых проектах; при накоплении статистики не менее чем по 10 проектам каждого типа границы подлежат пересчёту по перцентильному алгоритму п. 2.3.6.

Интерпретация результатов выполняется по шкалам таблиц 2.6, 2.8, 2.11 и 2.12.

3.2.2 Результаты оценки проектов, выполненных до внедрения корректирующих действий

Результаты расчёта по шести проектам группы «до» сведены в таблицу 3.14 (строки 1–6). Ниже дана содержательная характеристика каждого проекта.

Проект 1 «Техническое перевооружение электрощитовой». Перерасход по смете 3,8 % из-за дополнительных работ, задержка на пусконаладке и приёмке (отклонения 12,5 % и 33,3 %), гарантийные отказы автоматики. $Q = 0,699$ (наиболее слабые этапы – выполнение работ по договору и завершение цикла), $T = 0,898$, $E = 0,417$ (неудовлетворительно: низкие оценки ресурсного эффекта и результативности вложений в улучшения), $RH_{\text{техн}} = 3500$, $R_{\text{техн}} = 0,376$, $R = 0,424$ (уровень «низкий»). $I = 0,571$ – результативность неудовлетворительная.

Проект 2 «Ремонт асфальтового покрытия проездов». Сильный срыв сроков (дожди, простой подрядчика; задержки 43–60 % на фрезеровании,

укладке и выборе подрядчика), перерасход 11 %, дефекты уплотнения. $T = 0,714$ – наихудшее значение в выборке, $E = 0,346$ (нулевая оценка выполнения бюджета), $Q = 0,624$, $R = 0,526$. $I = 0,541$ – неудовлетворительная результативность, определяемая в первую очередь срывом сроков и перерасходом.

Проект 3 «Ограждение территории из профнастила». Перерасход 12,5 %, задержка поставки профлиста, дефекты сварных швов стоек. $Q = 0,649$ (низкая достоверность планирования стоимости), $T = 0,842$, $E = 0,353$, $R = 0,514$; $I = 0,564$ – неудовлетворительная результативность.

Проект 4 «Капитальный ремонт участка теплотрассы». Самый рисконасыщенный техпроцесс выборки (земляные и сварочные работы, $RH_{\text{техн}} = 4400$), нарушения ТБ, гарантийная течь. Сроки и качество на среднем уровне ($T = 0,898$, $Q = 0,638$), $E = 0,361$, но $R = 0,299$ (уровень «низкий», нижняя граница). $I = 0,486$ – наихудший результат в группе, обусловленный рискоустойчивостью: мультипликативная свёртка не позволяет компенсировать низкий R приемлемыми сроками.

Проект 5 «Ремонт мягкой кровли (здание 1)». Высокая рисконасыщенность (огневые работы, погодные условия; $RH_{\text{техн}} = 4036$), протечки в гарантийный период (интенсивность отказов 0,8 случ./мес.), перерасход 8 %. $Q = 0,652$, $T = 0,859$, $E = 0,378$, $R = 0,350$; $I = 0,513$ – неудовлетворительная результативность.

Проект 6 «Прокладка ливневой канализации». Лучший проект группы: выполнен с опережением графика ($T = 1,000$) и с экономией сметы ($KIP3 = 1,017$), $Q = 0,760$, $E = 0,554$ – единственное удовлетворительное значение E в группе. Слабые места – постпроектный анализ (этап 7, $S_7 = 0,511$) и рискоустойчивость ($R = 0,452$). $I = 0,645$ – удовлетворительная результативность.

3.2.3 Анализ результатов оценки

Ранжирование проектов «до» по I : Ливнёвка (0,645) → Щитовая (0,571) → Профнастил (0,564) → Асфальт (0,541) → Кровля-1 (0,513) → Теплотрасса (0,486). Пять из шести проектов имеют неудовлетворительную результативность; среднее I по группе – 0,553.

Факторный анализ показывает, что ограничивающими составляющими для всех проектов группы являются результативность использования ресурсов ($E = 0,346–0,554$; среднее 0,402 – «неудовлетворительно») и рискоустойчивость ($R = 0,299–0,526$; среднее 0,428 – «низкий» уровень). Качество и сроки находятся в удовлетворительной зоне ($Q = 0,624–0,760$, $T = 0,714–1,000$). Низкие значения E обусловлены тремя факторами: систематическим перерасходом сметы (КИПЗ = 0,889–0,964 у пяти проектов), высокой долей затрат на качество (ДРОК = 6,5–7,5 % при нормативе < 5 %) и низкой результативностью вложений в улучшения (РВУ = 0,72–0,76). Низкие значения R связаны как с рисконасыщенностью организационного процесса ($R_{\text{общ}} = 0,536$), так и с высокой рисконасыщенностью техпроцессов, содержащих сварочные, земляные и огневые работы.

Практический вывод: для повышения результативности проектов данного типа корректирующие действия должны быть направлены прежде всего на организационный процесс (этап 3 – выбор подрядчика, этапы 1 и 4) и на операции техпроцессов с наибольшим $RH_{\text{опер}}$ – именно эти направления реализованы в корректирующих действиях п. 3.1.5 и п. 3.1.9.

3.3 Оценка результативности корректирующих действий

3.3.1 Результаты оценки проектов, выполненных после внедрения корректирующих действий

Четыре проекта группы «после» выполнены после внедрения корректирующих действий по организационному процессу (п. 3.1.5) и по техпроцессам (п. 3.1.9). Результаты сведены в таблицу 3.14 (строки 7–10).

Таблица 3.14 – Сводные результаты оценки десяти проектов

№	Проект	Группа	Q	T	E	$RH_{\text{техн}}$	R	I	Интерпретация I
1	Щитовая	до	0,699	0,898	0,417	3500	0,424	0,571	неудовлетворительная
2	Асфальт	до	0,624	0,714	0,346	2762	0,526	0,541	неудовлетворительная
3	Профнастил	до	0,649	0,842	0,353	2852	0,514	0,564	неудовлетворительная
4	Теплотрасса	до	0,638	0,898	0,361	4400	0,299	0,486	неудовлетворительная
5	Кровля-1	до	0,652	0,859	0,378	4036	0,350	0,513	неудовлетворительная
6	Ливнёвка	до	0,760	1,000	0,554	3296	0,452	0,645	удовлетворительная
7	Асфальт-2	после	0,723	0,845	0,412	2450	0,596	0,629	удовлетворительная
8	Кровля-2	после	0,751	0,948	0,430	3500	0,451	0,604	удовлетворительная
9	Профлист-2	после	0,780	0,982	0,452	2500	0,589	0,673	удовлетворительная
10	Кабель	после	0,752	1,000	0,460	3130	0,502	0,639	удовлетворительная

Проект 7 «Ямочный ремонт асфальтового покрытия» («Асфальт-2»): задержка из-за погоды сохранилась ($T = 0,845$), но перерасход снижен с 11 до 5 % за счёт входного контроля смеси; $Q = 0,723$, $E = 0,412$, $R = 0,596$; $I = 0,629$. Проект 8 «Ремонт мягкой кровли (здание 2)» («Кровля-2»): огневые работы под контролем, перерасход 2,6 %, одна протечка за гарантийный период; $Q = 0,751$, $T = 0,948$, $E = 0,430$, $R = 0,451$; $I = 0,604$. Проект 9 «Обустройство ограждения из профлиста» («Профлист-2»): лучший проект группы – сроки и бюджет соблюдены, антикоррозионная защита по регламенту; $Q = 0,780$, $T = 0,982$, $E = 0,452$, $R = 0,589$; $I = 0,673$. Проект 10 «Замена вводного кабеля» («Кабель»): выполнен с опережением графика и точно по смете, небольшие замечания по исполнительной документации; $Q = 0,752$, $T = 1,000$, $E = 0,460$, $R = 0,502$; $I = 0,639$. Все четыре проекта группы «после» находятся в зоне удовлетворительной результативности.

3.3.2 Сравнение групп «до» и «после»

Сравнение выполнено по средним значениям, стандартным отклонениям и диапазонам показателей в группах (таблица 3.15, рисунки 3.4–3.6).

Таблица 3.15 – Статистики показателей по группам «до» ($n = 6$) и «после» ($n = 4$)

Показатель	Среднее «до»	СКО «до»	Диапазон «до»	Среднее «после»	СКО «после»	Диапазон «после»	Прирост среднего, %
Q	0,670	0,051	0,624–0,760	0,751	0,023	0,723–0,780	+12,1
T	0,869	0,094	0,714–1,000	0,944	0,069	0,845–1,000	+8,7
E	0,402	0,079	0,346–0,554	0,439	0,022	0,412–0,460	+9,2
R	0,428	0,090	0,299–0,526	0,534	0,070	0,451–0,596	+24,9
I	0,553	0,055	0,486–0,645	0,636	0,029	0,604–0,673	+15,0

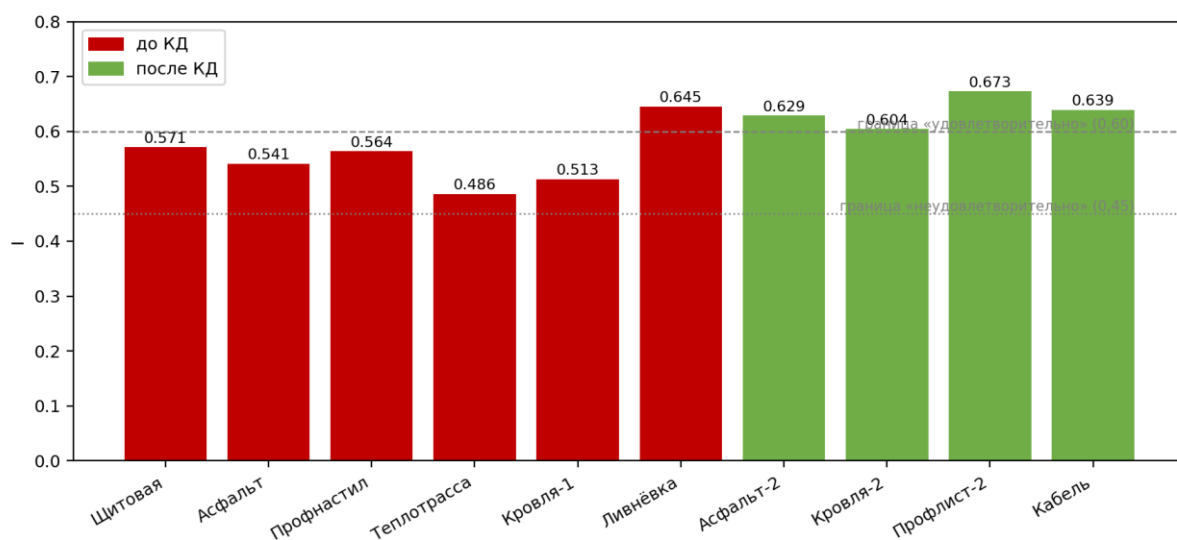


Рисунок 3.4 – Интегральный показатель результативности I по проектам

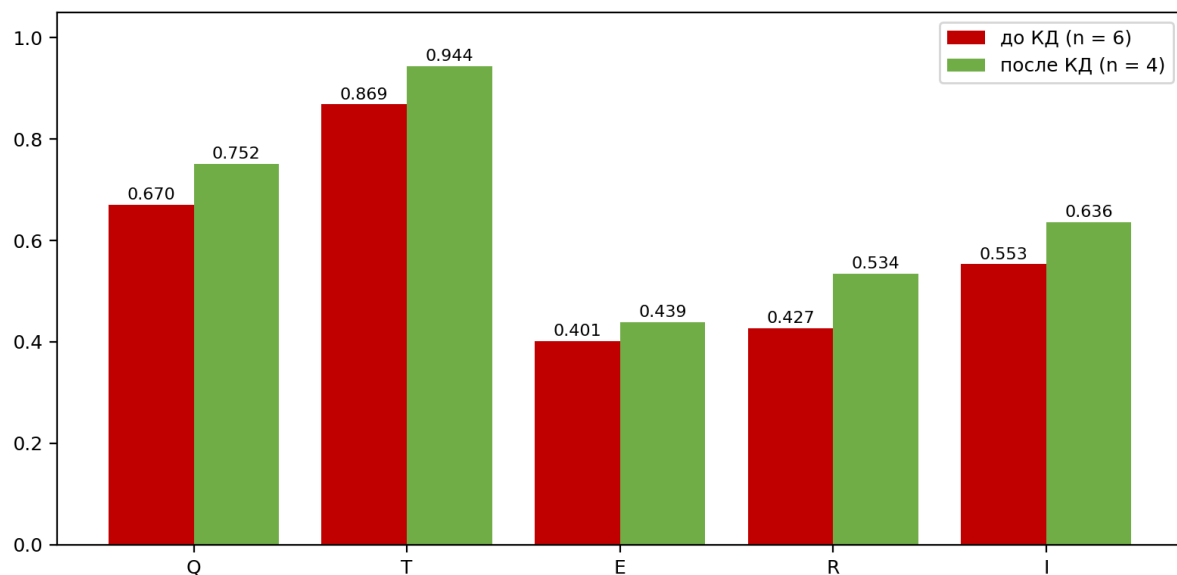


Рисунок 3.5 – Средние значения составляющих и интегрального показателя по группам

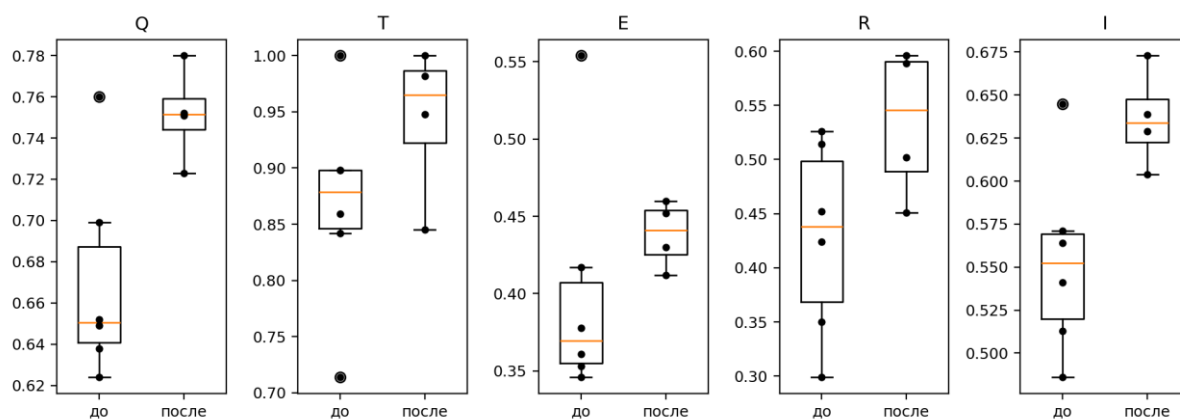


Рисунок 3.6 – Распределение показателей в группах «до» и «после» (диаграммы размаха)

Прирост среднего I составил 15,0 % (с 0,553 до 0,636); при этом разброс значений в группе «после» сократился вдвое (стандартное отклонение 0,055 → 0,029), т. е. корректирующие действия не только повысили результативность, но и стабилизировали её. Наибольший относительный рост показала рискоустойчивость (+24,9 %), затем качество (+12,1 %); сроки и результативность использования ресурсов выросли слабее (+8,7 % и +9,2 %). Минимальное значение I в группе «после» (0,604, Кровля-2) выше медианы группы «до» (0,553).

3.3.3 Статистическая проверка различий

Для проверки значимости различий использованы t -критерий Уэлча (не требует равенства дисперсий) и точный U -критерий Манна–Уитни (не требует нормальности распределения); в обоих случаях проверена односторонняя гипотеза H_1 : показатели группы «после» выше, чем группы «до». Размер эффекта оценён по d Коэна с объединённым стандартным отклонением [94]; пороги интерпретации: 0,2 – малый, 0,5 – средний, 0,8 – большой эффект. Результаты приведены в таблице 3.16.

Применение трёх взаимодополняющих процедур обусловлено малым объёмом выборок ($n = 6$ и $n = 4$). t -критерий Уэлча обладает наибольшей мощностью, но опирается на предположение о приближённой нормальности распределения; точный U -критерий свободен от этого предположения, однако при столь малых выборках его минимально достижимый уровень значимости ограничен ($p = 0,005$ при полном разделении групп); d Коэна характеризует величину различия независимо от объёма выборки и позволяет отличить сдвиг, статистически не подтверждённый из-за малого n , но практически существенный, от действительно малого. Согласованность выводов по трём процедурам повышает достоверность заключения о результативности корректирующих действий, а сами процедуры не избыточны, поскольку отвечают на разные вопросы: о наличии различия, о его устойчивости к форме распределения и о его величине.

Таблица 3.16 – Результаты статистической проверки различий между группами (односторонние критерии)

Показатель	t Уэлча	p (t-критерий)	U	p (U-критерий, точный)	d Коэна	Вывод
<i>Q</i>	3,42	0,005	21	0,033	1,91	значимо ($p < 0,05$)
<i>T</i>	1,46	0,092	18	0,176	0,88	незначимо
<i>E</i>	1,09	0,159	19	0,086	0,58	на уровне тенденции ($p < 0,10$ по U)
<i>R</i>	2,11	0,035	19	0,086	1,28	значимо по t, на уровне тенденции по U
<i>I</i>	3,11	0,007	21	0,033	1,77	значимо ($p < 0,05$)

Различие по интегральному показателю *I* и по качеству *Q* статистически значимо по обоим критериям; для *R* значимость подтверждается t-критерием, а непараметрический критерий даёт уровень тенденции ($U = 19$ при $n = 6/4$ соответствует $p = 0,086$ – при $n = 6/4$ уровень $p < 0,05$ достигается по точному критерию лишь при почти полном разделении групп, $U \geq 21$ из 24 возможных пар). Различия по *T* и *E* статистически не подтверждены и характеризуются как положительная тенденция. Размер эффекта по d Коэна большой для *Q*, *R* и *I*, средний – для *E*. Следует подчеркнуть ограничение: объём выборок (6 и 4 проекта) мал, поэтому результаты статистической проверки следует рассматривать как предварительные; с накоплением данных по новым проектам проверка должна быть повторена.

3.3.4 Чувствительность результата к выбору весовых экспонент

Устойчивость выводов к выбору весовых экспонент α , β , γ , δ проверена расчётом *I* для четырёх сценариев весов (таблица 3.17). Для каждого сценария вычислены средние *I* по группам и коэффициент ранговой корреляции Спирмена между ранжированием проектов в данном сценарии и базовом.

Таблица 3.17 – Чувствительность результата к выбору весовых экспонент

Сценарий весов ($\alpha / \beta / \gamma / \delta$)	Среднее <i>I</i> «до»	Среднее <i>I</i> «после»	Прирост, %	ρ Спирмена с базовым ранжированием
Базовый (0,3 / 0,2 / 0,2 / 0,3)	0,553	0,636	+15,0	1,000
Приоритет Q и R (0,35 / 0,15 / 0,15 / 0,35)	0,548	0,635	+15,9	0,939
Приоритет T и E (0,2 / 0,3 / 0,3 / 0,2)	0,565	0,638	+13,1	0,976
Равные веса (0,25 $\times$ 4)	0,559	0,637	+14,0	1,000

Во всех сценариях прирост среднего I составляет 13–16 %, а ранжирование проектов сохраняется ($\rho \geq 0,94$). Вывод о положительном эффекте корректирующих действий устойчив к выбору весов.

3.3.5 Декомпозиция прироста интегрального показателя

Мультипликативная форма модели позволяет разложить прирост I на вклады составляющих. Логарифмируя (2.3), получаем точное тождество

$$\Delta \ln I = \alpha \cdot \Delta \ln Q + \beta \cdot \Delta \ln T + \gamma \cdot \Delta \ln E + \delta \cdot \Delta \ln R, \quad (3.2)$$

где $\Delta \ln$ – разность средних логарифмов показателя по группам «после» и «до». Доля вклада каждой составляющей – отношение её слагаемого к $\Delta \ln I$; сумма долей по построению равна 100 %. Результаты приведены в таблице 3.18 и на рисунке 3.7.

Таблица 3.18 – Декомпозиция прироста $\ln I$ по составляющим

Составляющая	Вес	$\Delta \ln$ (средний)	Вклад в $\Delta \ln I$	Доля прироста, %
Q	0,3	0,116	0,0348	24,3
T	0,2	0,086	0,0172	12,0
E	0,2	0,101	0,0203	14,2
R	0,3	0,236	0,0707	49,5
Итого ($\Delta \ln I$)			0,1430	100

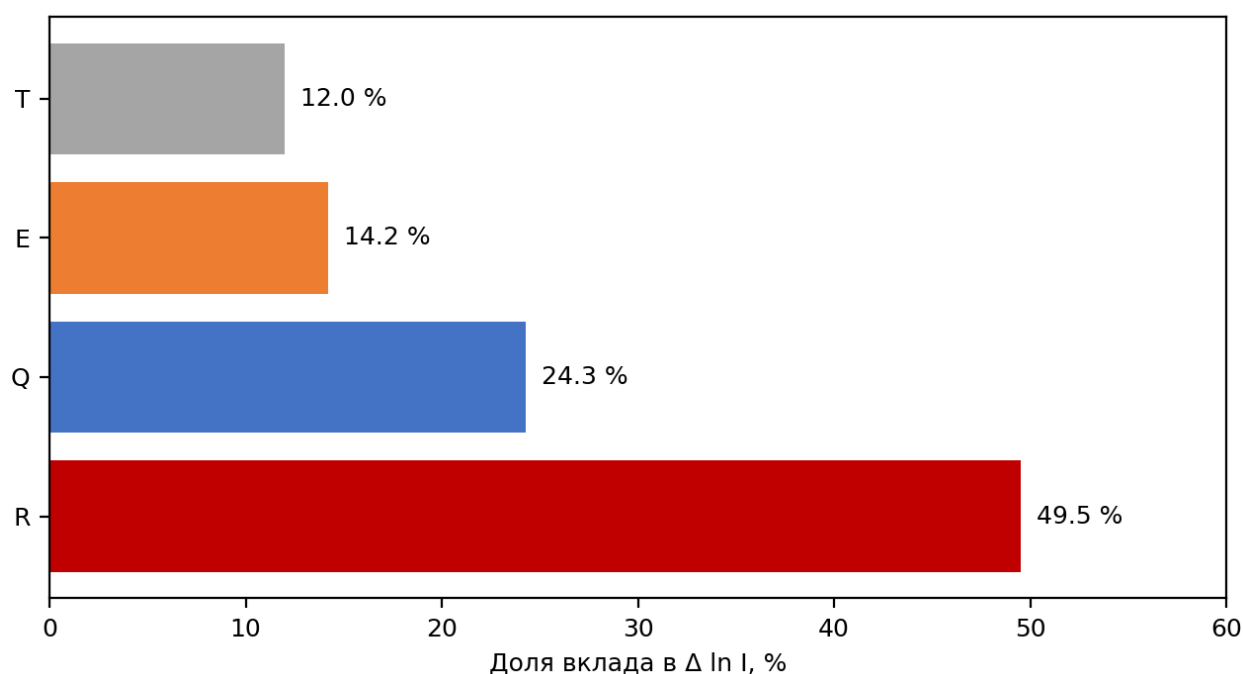


Рисунок 3.7 – Декомпозиция прироста интегрального показателя по составляющим

Основной вклад в прирост дала рискоустойчивость R – около половины (49,5 %): рисконасыщенность техпроцессов снижена в среднем на 12 %, организационного процесса – на 7,5 %. Второй по значимости вклад – качество Q (24,3 %). Это соответствует направленности внедрённых корректирующих действий: они адресованы прежде всего причинам отказов с наибольшими ПЧР и контролю качества на этапах выполнения, приёмки и эксплуатации. Составляющие T и E дали 12,0 и 14,2 % прироста; результативность использования ресурсов остаётся в зоне «неудовлетворительно» ($E < 0,5$) и является резервом следующего цикла улучшений – прежде всего за счёт снижения доли ресурсов, направленных на обеспечение качества (ДРОК), и повышения результативности вложений в улучшения (РВУ).

3.4 Апробация системы оценки подрядчиков (поставщиков) на данных строительной организации

Оценка поставщиков и подрядчиков является критически важным процессом для обеспечения стабильности и качества цепочек поставок [99]. Как было показано в п. 1.4, существующие методы часто фокусируются на ограниченном наборе критериев (преимущественно финансовых), что снижает их результативность. В п. 2.2 разработана иерархическая система оценки, объединяющая 7 ключевых категорий и 21 показатель, что обеспечивает многомерный анализ исполнителей [50, 104]. В данном разделе представлена апробация системы на данных строительной организации. В соответствии с названием системы оценки (п. 2.2) исполнители далее именуются поставщиками; термин применяется в широком смысле – к организациям, поставляющим работы и услуги по договорам подряда и аутсорсинга.

3.4.1 Расчёт и визуализация оценок потенциальных поставщиков

Для апробации системы были выбраны три реальные строительные организации, участвующие в тендерах на выполнение общестроительных и специализированных работ. Поставщики рейтинга А (отличные, 90–100

баллов) в текущих рыночных условиях встречаются крайне редко и, как правило, работают по закрытым рамочным соглашениям, поэтому в данном практическом расчёте рассматриваются три типичных сегмента рынка: надёжный (В), проблемный (С) и недобросовестный (D).

Расчёт интегральной оценки *В* производился по алгоритму п. 2.2.2 с использованием весовых коэффициентов значимости категорий. Сводные результаты расчёта по 7 категориям представлены в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Сводные интегральные оценки потенциальных поставщиков

Категория (Вес)	Поставщик 1	Поставщик 2	Поставщик 3
1. Качество материалов и работ (0,25)	91,5	83,4	65,5
2. Соблюдение сроков (0,20)	84,0	72,8	55,3
3. Организация взаимодействия (0,15)	88,9	65,7	38,0
4. Безопасность и экология (0,10)	100,0	64,0	40,0
5. Финансовая дисциплина (0,12)	88,3	68,9	39,4
6. Лояльность и партнёрство (0,08)	74,0	66,8	41,0
7. Перспективность (0,10)	86,6	28,4	19,3
Общая интегральная оценка (В)	88,56	69,86	48,14
Присвоенный рейтинг	В (Надёжный)	С (Проблемный)	D (Неудовлетв.)

Для наглядного представления результатов оценки на основании данных таблицы 3.19 строятся три типа визуализаций. Первый – график по категориям (рисунок 3.8), который позволяет оценить «профиль» надёжности каждого поставщика. На графике по оси абсцисс отложены 7 категорий, по оси ординат – баллы (0–100); пунктирными линиями отмечены пороговые уровни рейтингов А, В и С. График наглядно демонстрирует, что Поставщик 1 имеет стабильный профиль без провалов, тогда как Поставщик 2 имеет критически низкие значения в категориях «Безопасность» (64,0) и «Лояльность и партнёрство» (66,8), а Поставщик 3 демонстрирует деградацию по всем направлениям.

На рисунке 3.8 видны сильные и слабые позиции каждого поставщика по каждой категории. Тем не менее картина, показанная на диаграмме, неполная, так как она отражает только общие категории, а отдельные показатели не рассматриваются. В некоторых случаях отдельные показатели

играют не менее важную роль, чем категории, и могут стать решающим фактором при выборе организации.

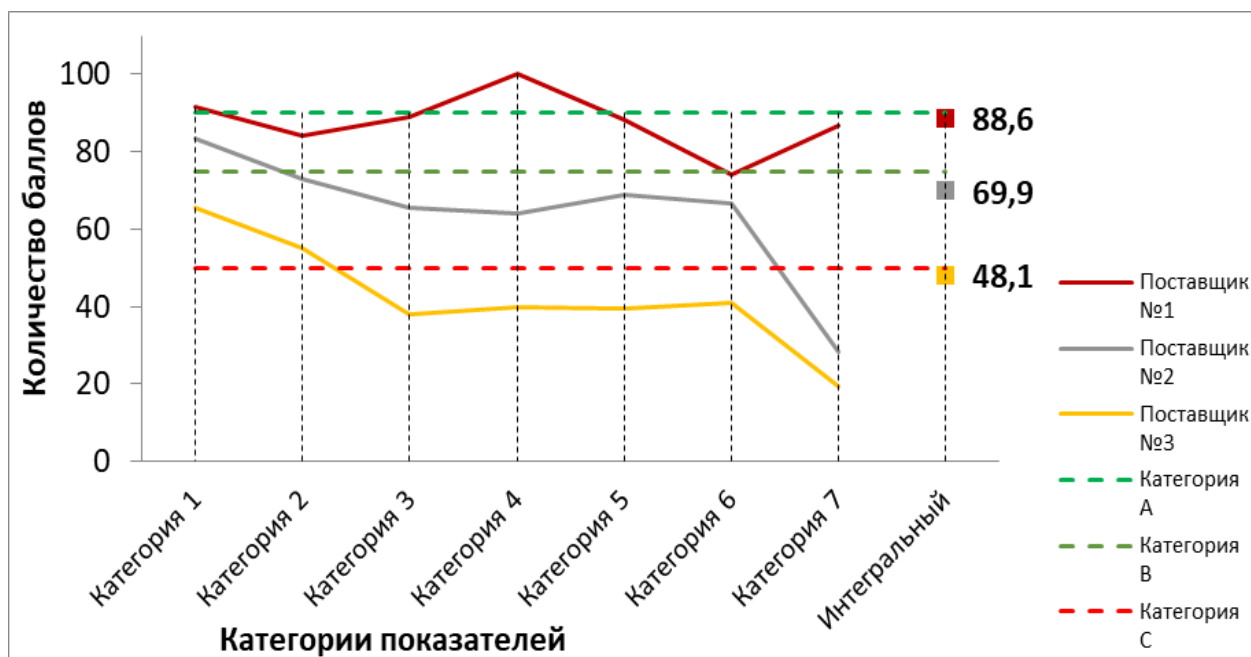


Рисунок 3.8 – Сравнительная оценка поставщиков по категориям

Чтобы более детально представить результаты оценки, строится диаграмма по показателям (рисунок 3.9), на которой также представлен нормативный уровень по каждому показателю.

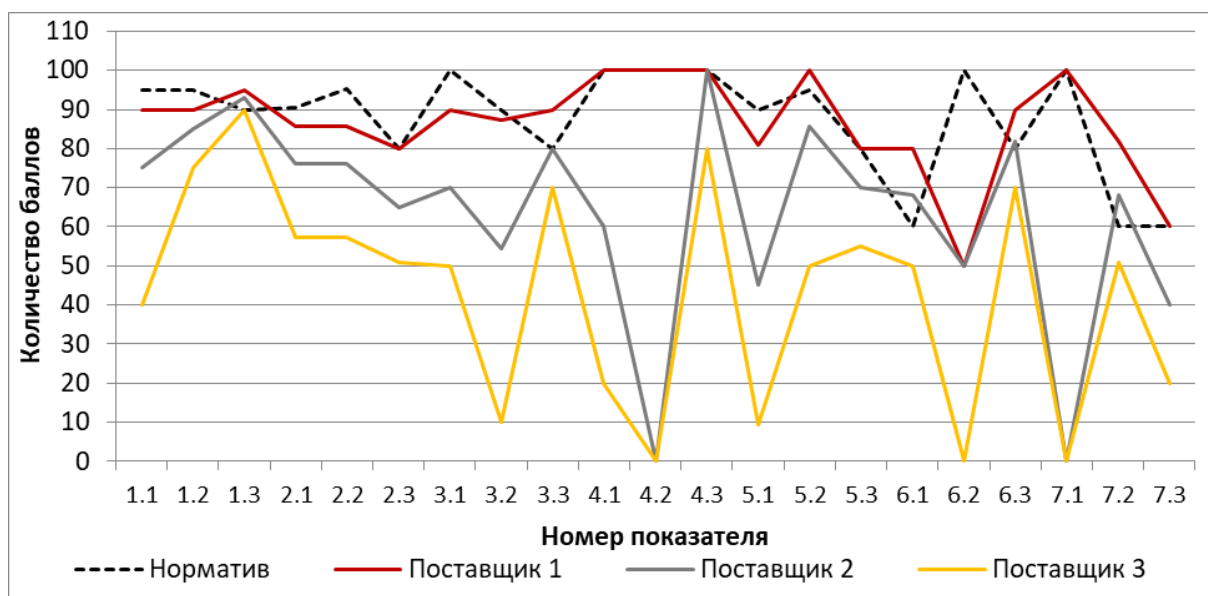


Рисунок 3.9 – Сравнительная оценка поставщиков по показателям

Ещё один инструмент – тепловая карта показателей (рисунок 3.10), где за центральный цвет (жёлтый) выбраны значения норматива; максимальному значению соответствует зелёный цвет, минимальному – красный.

Показатель	Норматив	Поставщик 1	Поставщик 2	Поставщик 3
1.1. Соответствие материалов ГОСТ/СНиП/ТУ	95,0	90,0	75,0	40,0
1.2. Уровень дефектов при поставке	95,0	90,0	85,0	75,0
1.3. Повторение претензий по качеству	90,0	95,0	93,0	90,0
2.1. Выполнение графика поставок материалов	90,5	85,7	76,2	57,1
2.2. Ритмичность поставок	95,2	85,7	76,2	57,1
2.3. Своевременность завершения этапов	80,0	80,0	65,0	51,0
3.1. Наличие сопроводительной документации	100,0	90,0	70,0	50,0
3.2. Оперативность реагирования на претензии	90,0	87,1	54,3	10,0
3.3. Гибкость условий контракта	80,0	90,0	80,0	70,0
4.1. Соблюдение норм охраны труда на объекте	100,0	100,0	60,0	20,0
4.2. Экологическая безопасность материалов	100,0	100,0	0,0	0,0
4.3. Соблюдение норм пожарной безопасности	100,0	100,0	100,0	80,0
5.1. Соблюдение бюджета	90,0	81,0	45,2	9,5
5.2. Возмещение убытков из-за брака/простоев	95,0	100,0	85,7	50,0
5.3. Прозрачность отчетности	80,0	80,0	70,0	55,0
6.1. Участие в совместных инновациях	60,0	80,0	68,0	50,0
6.2. Наличие долгосрочных контрактов	100,0	50,0	50,0	0,0
6.3. Репутация поставщика	80,0	90,0	82,0	70,0
7.1. Наличие сертифицированной СМК (ISO 9001)	100,0	100,0	0,0	0,0
7.2. Инвестиции в развитие	60,0	82,0	68,0	51,0
7.3. Потенциал роста	60,0	60,0	40,0	20,0

Рисунок 3.10 – Тепловая карта показателей оценки поставщиков

Тепловая карта позволяет детально увидеть скрытые угрозы: например, у Поставщика 2 при относительно приемлемом «Качестве материалов» (83,4) в «красные зоны» попадают «Организация взаимодействия» (65,7) и «Безопасность» (64,0), что является опережающим индикатором будущих срывов сроков и аварийных ситуаций на площадке.

Исходя из полученных результатов, руководителю отдела закупок рекомендуется рассматривать в первую очередь Поставщика 1 (рейтинг В); Поставщик 2 может быть допущен к работе при условии предварительного выполнения мероприятий по повышению рейтинга в категориях

«Безопасность и экология» и «Организация взаимодействия» (п. 3.4.3);
Поставщик 3 к участию не допускается.

3.4.2 Матрица принятия решений

Главная проблема строительства – выбор между «дёшево» и «надёжно» [47]. Интегральная оценка *B* не существует в отрыве от коммерческого предложения. В таблице 3.20 представлена матрица принятия решений, связывающая интегральную оценку *B* с ценой контракта и уровнем рисков.

Таблица 3.20 – Матрица принятия решений по выбору поставщика

Подряд-чик	Инт. оценка (B)	Относительная цена контракта	Прогноз рисков (на основе FMEA)	Управленческое решение
№ 1	88,56 (B)	100% (Базовая)	Низкие. Стандартные меры контроля.	Выбрать. Заключение договора на стандартных условиях.
№ 2	69,86 (C)	85% (Демпинг)	Высокие. Ожидается рост ПЧР по этапам монтажа и ТБ.	Выбрать с условиями. Внедрение плана корректирующих действий (КД), усиленный входной контроль, удержание 10 % до конца гарантийного срока.
№ 3	48,14 (D)	65 % (агрессивный демпинг)	Критические. Высокая вероятность срыва сроков и брака.	Отклонить. Включение в «чёрный список». Экономия на старте не покрывает рисков переделок.

Таким образом, система позволяет количественно обосновать отказ от работы с Поставщиком 3, несмотря на кажущуюся выгоду в 35 % от начальной цены, так как его профиль указывает на системную неспособность выполнить обязательства.

3.4.3 Динамика оценки поставщика и результативность корректирующих воздействий

Система оценки не должна быть лишь «отсеивающим» фильтром; она должна служить инструментом развития поставщиков [99]. Рассмотрим Поставщика 2 (рейтинг C, *B* = 69,86). Вместо расторжения контракта к нему применяется процедура развивающего аудита. По результатам тепловой карты (рисунок 3.10) были выявлены критические отклонения в категориях «Безопасность» и «Организация взаимодействия». Был разработан и внедрён план корректирующих действий (таблица 3.21): обязательное назначение ответственного за ТБ на объекте, еженедельные оперативные совещания с прорабом заказчика, внедрение цифрового чек-листа скрытых работ.

Таблица 3.21 – Динамика показателей Поставщика 2 до и после внедрения корректирующих действий

Категория	Оценка «До» КД	Оценка «После» КД (через 3 мес.)	Изм-ние
3. Организация взаимодействия	65,7	82,0	+16,3
4. Безопасность и экология	64,0	88,0	+24,0
6. Лояльность и партнёрство	66,8	78,0	+11,2
Общая интегральная оценка (В)	69,86 (Рейтинг С)	81,5 (Рейтинг В)	+11,64

3.4.4 Влияние качества поставщика на интегральный показатель результативности проекта

Разработанная система оценки поставщиков является не изолированным инструментом отдела закупок, а критическим элементом системы управления рисками и качеством строительного проекта, напрямую влияющим на итоговый интегральный показатель результативности I , рассчитанный по мультипликативной модели (п. 2.3.1).

Влияние оценки поставщика B на проект опосредовано через две ключевые составляющие модели: качество Q и рискоустойчивость R .

1. Связь с FMEA и показателем R . Низкие баллы поставщика в категориях «Безопасность» и «Соблюдение сроков» (как у Поставщиков 2 и 3) напрямую транслируются в FMEA-анализ (п. 3.1). При работе с таким поставщиком экспертная оценка вероятности возникновения отказа (O) и вероятности обнаружения (D) на этапах производства работ повышается. Это ведёт к росту суммарной рисконасыщенности техпроцесса, что по функции нормирования (2.15) снижает показатель рискоустойчивости проекта R .

2. Связь с мультипликативной свёрткой. Поскольку интегральный показатель проекта рассчитывается как $I = Q^{\alpha} \cdot T^{\beta} \cdot E^{\gamma} \cdot R^{\delta}$, модель реализует принцип «слабого звена».

Рассмотрим два сценария реализации типового строительного проекта.

Сценарий 1 (работы выполняет Поставщик 1, рейтинг В): риски находятся в «зелёной зоне», показатель R остаётся высоким (например, 0,85). Даже если возникнут форс-мажорные задержки (снижение T), мультипликативная модель сохранит итоговый показатель I на уровне «хорошо» или «удовлетворительно».

Сценарий 2 (работы выполняет Поставщик 3, рейтинг D, выбранный по минимальной цене): результативность использования ресурсов E на этапе заключения контракта кажется высокой за счёт демпинга. Однако низкая квалификация и игнорирование ТБ (оценки 40 и 19 баллов) приводят к реализации критических рисков FMEA (аварии, брак, предписания надзора). Показатель R падает до критических значений (например, 0,25). В силу мультипликативной природы формулы падение R и Q не может быть скомпенсировано экономией бюджета; итоговый показатель I резко снижается, переводя проект в зону «недопустимая результативность». Именно такую картину показал проект «Теплотрасса» в п. 3.2.2: при удовлетворительных Q и T низкая рискоустойчивость определила наихудший результат в выборке.

Таким образом, апробация системы оценки поставщиков на реальных данных показала её способность выявлять скрытые риски, которые не видны при стандартной юридической и финансовой проверке контрагентов. Интегральная оценка поставщика B выступает опережающим индикатором для FMEA-анализа. Использование системы при выборе стратегии аутсорсинга позволяет минимизировать рисконасыщенность технологических процессов, что является обязательным условием для достижения высоких значений мультипликативного показателя результативности строительного проекта I .

Представленная система оценки и выбора поставщиков соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [27] в части оценки и выбора внешних поставщиков и не только решает текущие задачи выбора подрядчиков, но и формирует основу для долгосрочной устойчивости бизнеса, выстраивая взаимоотношения заказчиков и исполнителей на основе соблюдения закона, взаимной выгоды и финансовой дисциплины.

3.5 Выводы по главе

В третьей главе выполнено исследование организационного и технологических процессов реализации строительных проектов методом FMEA и проведена апробация разработанного инструментария на данных строительной организации.

1. Выполнена адаптация методологии FMEA к строительным процессам: разработаны отраслевые шкалы значимости последствий (S), вероятности 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.

2. Проведён FMEA-анализ организационного процесса реализации строительного проекта по всем семи этапам процессной модели: выявлено 29 отказов, суммарная рисконасыщенность процесса составила 5980 при среднем ПЧР одного отказа 206. Наибольшая рисконасыщенность (42,6 %) приходится на этап 3 «Поиск подрядчика и заключение договора», что подтверждает вывод главы 1 о выборе подрядчика как ключевой проблеме управления качеством при аутсорсинге. Показатель рискоустойчивости организационного процесса $R_{\text{общ}} = 0,536$ («средний» уровень).

3. Для пяти отказов этапа 3 с наибольшими ПЧР (252–336) разработаны корректирующие действия, опирающиеся на инструментарий главы 2 (система оценки подрядчиков, постпроектная оценка, электронное документирование отбора, проверка репутации кандидатов). По повторной экспертной оценке ПЧР этих отказов снижены на 29–33 %, рисконасыщенность этапа 3 – на 17,5 %, организационного процесса – на 7,5 %; $R_{\text{общ}}$ повышен до 0,624. Предложены направления интеграции результатов FMEA в систему менеджмента качества организации (стандартизация, автоматизация, обучение, мотивация, мониторинг).

4. Разработана упрощённая методика оценки рисконасыщенности технологических процессов на основе типовых чек-листов отказов по классам

работ, с регламентом периодичности, распределением ответственности и показателями мониторинга. Методика снижает трудоёмкость анализа в 5–7 раз по сравнению с полным FMEA и обеспечивает воспроизводимость оценок; по ней проанализированы техпроцессы десяти проектов. Типовые чек-листы отказов и сопоставленные им типовые корректирующие действия выступают элементом стандартизации процесса оценки рисков.

5. Выполнена апробация математической модели интегральной оценки результативности на десяти ремонтно-строительных проектах одного предприятия. До внедрения корректирующих действий пять из шести проектов имели неудовлетворительную результативность ($I = 0,486–0,571$; среднее по группе $0,553$); ограничивающими составляющими являлись результативность использования ресурсов (E в среднем $0,402$) и рискоустойчивость (R в среднем $0,428$). Все четыре проекта, выполненные после внедрения корректирующих действий, перешли в зону удовлетворительной результативности ($I = 0,604–0,673$, среднее $0,636$); разброс значений сократился вдвое.

6. Прирост среднего I составил $15,0 \%$; различие статистически значимо по интегральному показателю и качеству (точный U-критерий Манна–Уитни, $p = 0,033$; t-критерий, $p \leq 0,007$) 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 статистически не подтверждены и характеризуются как положительная тенденция. Результат устойчив к выбору весовых экспонент: во всех сценариях прирост составляет $13–16 \%$ при сохранении ранжирования проектов ($p \geq 0,94$). Ограничением апробации является малый объём выборок (6 и 4 проекта).

7. Декомпозиция прироста показала, что основной вклад дала рискоустойчивость ($49,5 \%$ прироста $\ln I$), затем качество ($24,3 \%$); результативность использования ресурсов ($14,2 \%$) и сроки ($12,0 \%$) выросли слабее, при этом E остаётся в зоне «неудовлетворительно» и является

резервом следующего цикла улучшений. Это соответствует направленности внедрённых корректирующих действий и подтверждает способность модели локализовать источники эффекта.

8. Апробация системы оценки подрядчиков (поставщиков) на трёх реальных организациях показала её способность различать сегменты рынка (рейтинги В, С, D), выявлять скрытые риски по отдельным показателям (диаграммы по категориям и показателям, тепловая карта), обосновывать решения с учётом цены контракта (матрица принятия решений) и служить инструментом развития поставщиков: по результатам развивающего аудита интегральная оценка Поставщика 2 повышена с 69,9 до 81,5 балла (переход из рейтинга С в В).

4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ НА БАЗЕ ГОСТ Р ИСО 9001-2015

В настоящей главе результаты глав 2 и 3 объединены в методику повышения результативности процессов реализации строительных проектов, предназначенную для практического применения в организациях разного масштаба (задача 5 исследования). Методика разработана в двух версиях: полная – для средних и крупных организаций, располагающих отделом качества и ресурсами для ведения системы менеджмента качества по ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [27], и упрощённая – для малых предприятий, для которых полный объём процедур избыточен. Обе версии опираются на процессную модель (п. 2.1), систему оценки подрядчиков (п. 2.2), математическую модель интегрального показателя результативности I (п. 2.3–2.4), адаптированную методологию FMEA и чек-листы оценки рисков технологических процессов (п. 3.1). Глава завершается рекомендациями по поэтапному внедрению методики в зависимости от уровня зрелости системы менеджмента качества организации и оценкой экономического эффекта внедрения.

4.1 Полная методика повышения результативности процессов для строительной организации

Методика предназначена для системного повышения результативности процессов реализации строительных проектов в организациях среднего и крупного размера, имеющих ресурсы для внедрения полной версии. Она базируется на структурно-функциональной модели процесса (7 этапов), математической модели интегральной оценки результативности (показатель I) и FMEA-анализе рисков. Методика соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [27] (с учётом отраслевых требований ГОСТ Р 55048-2012 [19] и руководящих указаний по менеджменту качества в проектах ГОСТ Р ИСО 10006-2019 [23]), в частности:

- п. 4.4 – управление процессами;

- п. 5.1 – лидерство и вовлечение руководства;
- п. 6.1 – действия в отношении рисков и возможностей; п. 6.2 – цели в области качества; п. 6.3 – планирование изменений;
- п. 7.1 – ресурсы; п. 7.5 – документированная информация;
- п. 8.1 – оперативное планирование и управление; п. 8.4 – управление внешними поставщиками; п. 8.5.1 – управление производством; п. 8.7 – управление несоответствующими результатами;
- п. 9.1 – мониторинг, измерение, анализ и оценка; п. 9.2 – внутренний аудит; п. 9.3 – анализ со стороны руководства;
- п. 10.2 – несоответствия и корректирующие действия;
- п. 10.3 – постоянное улучшение.

4.1.1 Общая архитектура методики (многоуровневая система циклов PDCA)

Методика реализует три взаимосвязанных контура повышения результативности процессов (рисунок 4.1), которые соответствуют разным уровням и временным горизонтам:

1) контур А – контур стратегического улучшения (цикл PDCA на уровне организации) – пересмотр и совершенствование общего организационного процесса реализации проектов (верхний уровень модели);

2) контур Б – контур тактического улучшения (цикл PDCA на уровнях организации и проекта) – управление текущим контролем, выявление проблем и корректирующие действия в ходе выполнения проектов;

3) контур В – контур оценки результативности (цикл PDCA на основе интегрального показателя *I*) – анализ завершённых проектов, выявление системных проблем и обратная связь на этап планирования.

Все контуры интегрированы в единую систему постоянного улучшения, основанную на циклах Деминга (Plan – Do – Check – Act) [34]. Контуры различаются объектом управления: контур А оперирует средними по организации показателями за период и организационным процессом в целом;

контур Б – ходом конкретного проекта; контур В – показателями отдельных завершённых проектов, результаты которого служат входом для контура А.

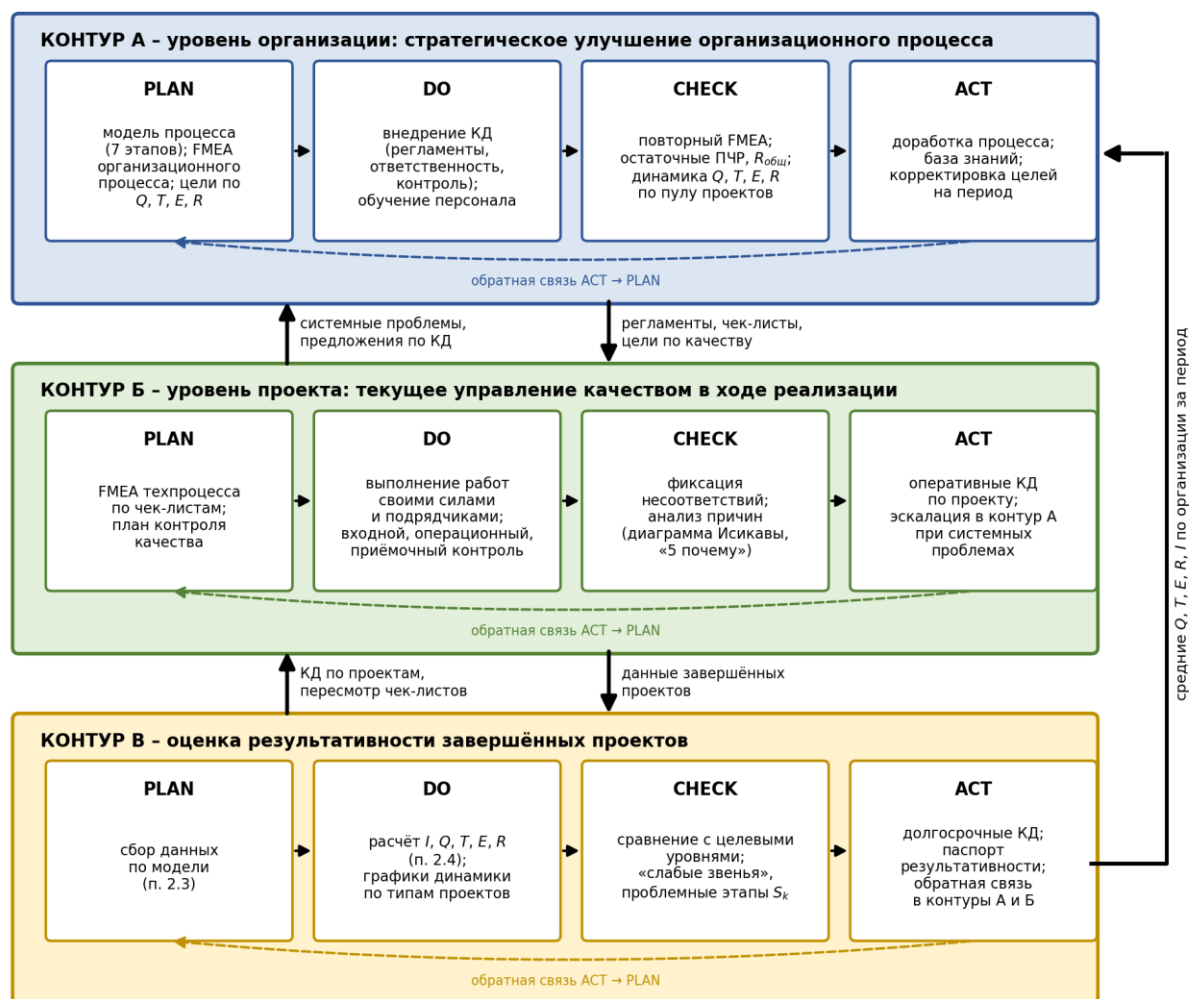


Рисунок 4.1 – Контуры повышения результативности процессов в полной методике

Описание методики согласно рисунку 4.1 приведено ниже.

Контур А (стратегическое улучшение организационного процесса).

Plan: разработка и актуализация структурно-функциональной модели процесса реализации строительных проектов (7 этапов, подэтапы, функции отделов); проведение FMEA организационного процесса (верхний уровень) – идентификация отказов, причин, оценка рангов S, O, D, расчёт ПЧР и рисконасыщенности; определение целей по качеству, срокам, результативности использования ресурсов и рискоустойчивости для организации в целом.

Do: внедрение корректирующих действий (КД), разработанных по результатам FMEA (изменение регламентов, распределения ответственности, методов контроля); обучение персонала и подрядчиков новым процедурам; периодический аудит выполнения КД.

Check: повторная оценка рисков (FMEA после внедрения КД) – расчёт остаточных ПЧР и $R_{\text{общ}}$; оценка изменения показателей Q , T , E , R по пулу завершённых проектов (в среднем по организации); сравнение с целевыми значениями и анализ трендов.

Act: принятие решений о доработке процесса (если снижение рисков недостаточно); обновление базы знаний организации (реестр отказов, типовые решения); корректировка целей и показателей на следующий период.

Контур Б (текущее управление качеством в ходе реализации проектов).

Plan: для каждого нового проекта на этапе планирования проводится FMEA технологического процесса (нижний уровень) с использованием типовых чек-листов (п. 3.1.8); разрабатываются планы контроля качества (карты контроля, точки промежуточных приёмов).

Do: выполнение работ собственными силами и подрядчиками с соблюдением технологических регламентов; проведение текущего контроля (входной контроль материалов, операционный контроль, приёмочный контроль).

Check: фиксация несоответствий (дефектов, нарушений сроков, превышений бюджета) в журналах и актах; анализ причин выявленных несоответствий (причинно-следственные диаграммы, «5 почему») [39].

Act: разработка и реализация оперативных корректирующих действий (для данного проекта); оценка результативности КД (устранение дефекта, предотвращение рецидива); при необходимости – эскалация проблемы на уровень организационного процесса (изменение регламентов).

Контур В (интегральная оценка результативности завершённых проектов).

Plan: планирование сбора данных по проекту в соответствии с исходными данными, предусмотренными математической моделью (п. 2.3).

Do: расчёт интегрального показателя I и его составляющих Q, T, E, R по алгоритму п. 2.4 (пример – п. 3.2); построение графиков динамики (по датам завершения проектов) для каждой группы однотипных проектов.

Check: сравнение значений I с целевыми уровнями и с историческими данными; идентификация «слабых звеньев» – составляющих (Q, T, E, R), внёсших наибольший отрицательный вклад; анализ проблемных этапов процесса (по показателям S_k) и причин отклонений.

Act: разработка долгосрочных корректирующих действий (изменение процедур, пересмотр чек-листов, дополнительное обучение); оценка результативности КД через сравнение показателей следующих проектов (обратная связь в контур А и контур Б); обновление базы знаний организации.

4.1.2 Взаимосвязь с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001-2015

В таблице 4.1 приведено соответствие элементов методики пунктам стандарта [27].

Таблица 4.1 – Матрица соответствия методики требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015

Пункт стандарта	Элемент методики	Реализация
4.4 (Процессный подход)	Структурно-функциональная модель, 7 этапов	Описание входов/выходов, ресурсов, владельцев процессов
5.1 (Лидерство)	Политика в области качества, ответственные за контуры PDCA	Руководитель утверждает цели, рассматривает отчёты по FMEA и интегральным оценкам
6.1 (Риски и возможности)	FMEA организационного и технологического процессов	Идентификация отказов, оценка S, O, D, планирование КД
6.2 (Цели в области качества и планирование их достижения)	Целевые диапазоны Q, T, E, R, I	Политика качества, паспорт результативности проекта
6.3 (Планирование изменений)	Пересмотр чек-листов, регламентов, весовых коэффициентов	Контур А PDCA
7.1 (Ресурсы)	Оценка достаточности ресурсов при планировании	Включено в этап 1 «Планирование»
7.5 (Документированная информация)	Регламенты, протоколы FMEA, чек-листы, паспорта результативности	Хранение в электронном архиве, срок 5 лет
8.1 (Оперативное планирование)	FMEA техпроцесса, план контроля качества	Для каждого проекта на стадии планирования
8.4 (Внешние поставщики)	Система оценки подрядчиков (интегральная оценка В, п. 2.2)	Оценка подрядчиков, рейтингование, матрица принятия решений

Пункт стандарта	Элемент методики	Реализация
8.5.1 (Управление производством и предоставлением услуг)	Планы контроля качества, карты контроля, точки промежуточных приёмов	Контур Б PDCA
8.7 (Управление несоответствующими результатами процессов)	Реестр несоответствий, акты о недостатках, план-отчёт КД	Контур Б и В
9.1 (Мониторинг и анализ)	Расчёт Q, T, E, R, I для каждого завершённого проекта	Постоянный сбор данных, построение графиков
9.1.3 (Анализ и оценка)	Расчёт Q, T, E, R, I по завершённым проектам	Контур В
9.2 (Внутренний аудит)	Аудит применения чек-листов, корректности FMEA	Ежеквартально, 10 % проектов
9.3 (Анализ со стороны руководства)	Рассмотрение отчётов по FMEA и интегральным оценкам	Контур А, стратегическая сессия
10.2 (Несоответствия и КД)	Контур Б и В – выявление проблем, разработка КД, оценка результативности	Реестр несоответствий, план КД, отслеживание повторяемости
10.3 (Постоянное улучшение)	Все три контура PDCA с обратными связями	Ежегодный пересмотр FMEA, корректировка целей

Соотношение применяемых стандартов требует пояснения. ГОСТ Р 55048-2012 устанавливает особые требования по применению ГОСТ Р ИСО 9001-2008 в строительстве и потому структурно отличается от действующей версии стандарта 2015 года. В настоящей работе отраслевые требования ГОСТ Р 55048-2012 применяются как содержательное дополнение к ГОСТ Р ИСО 9001-2015: требования к управлению процессами, контролю качества работ, управлению несоответствиями и документированной информации сохраняют силу, а их изложение приведено в соответствие со структурой стандарта 2015 года. Такой подход соответствует практике переходного периода и не создаёт противоречия между отраслевыми и общими требованиями.

Распределение функций при реализации полной методики приведено в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Роли и ответственность в полной методике

Роль	Ответственность	Участие в контурах
Руководитель организации	Утверждение политики качества, целей, выделение ресурсов, рассмотрение результатов	А, В
Начальник отдела качества	Методологическое обеспечение, актуализация чек-листов, расчёт I, проведение FMEA верхнего уровня	А, В
Руководитель проекта (РП)	Планирование проекта, организация FMEA техпроцесса, текущий контроль, сбор данных	Б, В
Инженер ПТО / главный специалист	Заполнение чек-листов, идентификация отказов, корректировка рангов S, O, D	Б
Экономический отдел	Расчёт показателей результативности использования ресурсов (КИПЗ, ОИР, ЭВР, ДРОК, РВУ, СВР)	В

Роль	Ответственность	Участие в контурах
Отдел закупок	Оценка подрядчиков по системе п. 2.2 (интегральная оценка B), ведение реестра договоров	Б, В
Риск-менеджер	Координация FMEA, расчёт РН, нормирование R	А, Б
Служба эксплуатации	Сбор данных по гарантийным случаям, обратная связь	Б, В

Обязательные документы полной методики:

- 1) политика в области качества (цели по I , целевые диапазоны Q , T , E , R);
- 2) регламент структурно-функциональной модели процесса (описание 7 этапов, подэтапов, ответственных);
- 3) протоколы FMEA организационного процесса и типовых техпроцессов (с чек-листами);
- 4) инструкция по расчёту интегрального показателя I ;
- 5) паспорт результативности проекта (по каждому завершённом проекту; состав – п. 2.4);
- 6) реестр несоответствий и корректирующих действий (с отслеживанием результативности);
- 7) база знаний (типовые отказы, причины, результативные КД).

4.2 Упрощённая методика повышения результативности процессов для малых строительных предприятий

4.2.1 Особенности малых предприятий и ограничения

Малые строительные организации, как правило, не имеют выделенного отдела качества и риск-менеджера, развитой ИТ-инфраструктуры для автоматизации расчётов и ресурсов для проведения полного FMEA по каждому проекту; функции управления качеством в них совмещают руководитель предприятия и руководители проектов (прорабы). В то же время ГОСТ Р ИСО 9001-2015 допускает пропорциональность системы менеджмента качества размеру организации и сложности её процессов, а ГОСТ Р 54985-2018 [18] содержит руководящие указания по внедрению СМК на основе ИСО 9001:2015 именно для малых организаций. Упрощённая

методика следует этим указаниям: сохраняет ключевые принципы (PDCA, риск-ориентированное мышление, постоянное улучшение), но снижает трудоёмкость и документационную нагрузку. Она построена как частный случай полной методики: те же составляющие Q , T , E , R и та же мультипликативная свёртка, но с укрупнёнными этапами, укороченными чек-листами и минимальным документооборотом. Цикл упрощённой методики приведён на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 – Цикл упрощённой методики повышения результативности процессов для малых строительных предприятий

Основные отличия упрощённой методики от полной приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Основные отличия упрощённой методики от полной

Аспект	Полная методика	Упрощённая методика
Структурно-функциональная модель	7 этапов, детализация до подэтапов	5 укрупнённых этапов (планирование → выполнение → контроль и приёмка → оценка → улучшение)

Аспект	Полная методика	Упрощённая методика
FMEA организационного процесса	Проводится ежегодно межфункциональной командой	Не проводится (риски учитываются через укороченные чек-листы техпроцессов)
FMEA технологического процесса	Детальные чек-листы (10–15 отказов на класс)	Укороченный чек-лист (5–7 наиболее критичных отказов на класс)
Оценка рискоустойчивости R	Полный расчёт $R_{\text{общ}}$ и $R_{\text{техн}}$ с калибровкой границ	Только $R_{\text{техн}}$ по формуле (2.15) с фиксированными границами $R_{\text{H}_{\text{min}}}$, $R_{\text{H}_{\text{lim}}}$, установленными по данным главы 3
Интегральный показатель I	Четыре составляющие (Q , T , E , R) с экспертными весами	Четыре составляющие с равными весами (1/4)
Показатели результативности использования ресурсов	6 показателей (КИПЗ, ОИР, ЭВР, ДРОК, РВУ, СВР)	3 показателя (КИПЗ, ОИР или ресурсный эффект, ЭВР)
Периодичность сбора данных	Ежемесячно и по завершении проекта	Только по завершении проекта
Документирование	7 обязательных документов	3 документа (политика качества, паспорт результативности проекта, реестр замечаний и КД)
Ответственные	Отдел качества, риск-менеджер, экономист	Руководитель предприятия, руководитель проекта, бухгалтер

4.2.2 Упрощённые функции нормирования и расчёта

Показатель качества $Q_{\text{упр}}$ рассчитывается как среднее арифметическое трёх оценок в шкале $[0; 1]$: соответствие проектной документации (по актам приёмки: 1 – замечаний нет; 0,5 – замечания устранены до подписания акта; 0 – акт подписан с недостатками); отсутствие дефектов (1 минус доля работ с замечаниями в общем объёме); полнота исполнительной документации (доля представленных документов от требуемого перечня).

Показатель соблюдения сроков $T_{\text{упр}}$:

$$T_{\text{упр}} = \exp\left(-\frac{t_{\text{задержка}}}{t_{\text{план}}}\right), \quad (4.1)$$

где $t_{\text{задержка}}$ – суммарная задержка по критическому пути проекта, дн.; $t_{\text{план}}$ – плановая длительность проекта, дн. При выполнении в срок или с опережением $T_{\text{упр}} = 1$.

Показатель результативности использования ресурсов $E_{\text{упр}}$:

$$E_{\text{упр}} = \frac{1}{3}(h_{\text{кипз}} + h_{\text{оир}} + h_{\text{эвр}}), \quad (4.2)$$

где функции нормирования h – кусочно-линейные согласно таблице 2.10; для внутренних некоммерческих проектов вместо ОИР используется ресурсный эффект от проекта (п. 2.3.5).

Показатель рискоустойчивости $R_{\text{упр}}$ рассчитывается по рисконасыщенности технологического процесса, определённой по укороченному чек-листу (пример – Приложение 9), с фиксированными границами нормирования:

$$R_{\text{упр}} = 1 - N(PH_{\text{техн}}), \quad (4.3)$$

где $N(PH_{\text{техн}})$ – по формуле (2.15) с границами $PH_{\min}$ и $PH_{\lim}$, установленными для укороченного чек-листа пропорционально его составу (для чек-листа из 6 отказов и техпроцесса из 7 операций – 300 и 3000 соответственно, обоснование – в приложении 9); при накоплении статистики границы пересматриваются.

Интегральный показатель:

$$I_{\text{упр}} = \sqrt[4]{Q_{\text{упр}} \cdot T_{\text{упр}} \cdot E_{\text{упр}} \cdot R_{\text{упр}}}, \quad (4.4)$$

веса всех четырёх составляющих равны ($\alpha = \beta = \gamma = \delta = 1/4$). Интерпретация $I_{\text{упр}}$ – по шкале таблицы 2.6.

4.2.3 Ответственность и документация при упрощённой методике

В упрощённой методике ответственные лица привлекаются из числа существующих сотрудников, должности которых имеются в большинстве организаций вне зависимости от организационно-правовой формы и оборота:

- руководитель предприятия – утверждает паспорта результативности проектов, принимает решения о корректирующих действиях;
- руководитель проекта (он же прораб) – заполняет чек-лист рисков, ведёт журнал замечаний, рассчитывает $I_{\text{упр}}$ по шаблону электронной таблицы;
- бухгалтер/экономист – предоставляет данные о фактических затратах и доходах;

– внешний консультант (привлекается один раз в год) – помогает актуализировать чек-лист рисков и проводит обучение.

Документация упрощённой методики:

– политика качества (одна страница) – цель: достижение $I_{\text{упр}} \geq 0,75$ по каждому проекту (уровень «хорошая результативность» по таблице 2.6);

– шаблон паспорта результативности проекта (плановые/фактические сроки, стоимость, перечень замечаний, значения $Q_{\text{упр}}$, $T_{\text{упр}}$, $E_{\text{упр}}$, $R_{\text{упр}}$, расчёт $I_{\text{упр}}$);

– реестр корректирующих действий (электронная таблица: дата, проблема, КД, ответственный, статус, результативность).

Таким образом, упрощённая методика сохраняет принципы и математический аппарат полной, снижая трудоёмкость за счёт укрупнения этапов, укороченных чек-листов и минимального документооборота, и служит стартовой ступенью для перехода к полной методике по мере роста зрелости организации (п. 4.3).

4.3 Рекомендации по поэтапному внедрению методики

Перед внедрением рекомендуется определить уровень зрелости системы менеджмента качества организации по пятиуровневой шкале (таблица 4.4), построенной в соответствии с подходом к самооценке ГОСТ Р ИСО 9004-2019 [28].

Таблица 4.4 – Уровни зрелости системы менеджмента качества

Уровень	Характеристика	Типичные признаки
1 (начальный)	Отсутствие системного подхода, качество – «на совести» рабочих	Нет документированных процедур, контроль только финальный
2 (повторяемый)	Есть отдельные регламенты, но не всегда соблюдаются	Частично ведётся документация, претензии разбираются несистемно
3 (определённый)	Процессы документированы, есть ответственные за качество	Назначен инженер по качеству, проводятся внутренние проверки
4 (управляемый)	Процессы измеряются, используются показатели	Регулярный сбор статистики по дефектам, анализ причин
5 (оптимизирующий)	Постоянное улучшение на основе обратной связи	Применяются FMEA, статистическое управление процессами, бенчмаркинг

Организация входит в план внедрения с этапа, соответствующего её текущему уровню зрелости: предприятие, уже имеющее документированную

СМК (уровень 3), начинается с этапа 3. Пошаговый план внедрения состоит из четырёх этапов.

Этап 1 (1–3 месяца) – подготовка и базовый учёт. Цель: переход от уровня 1 к уровню 2. Действия: назначить ответственного за качество (из числа руководителей проектов); внедрить журнал учёта дефектов и замечаний (бумажный или в электронной таблице); определить для каждого проекта плановые сроки и бюджет (зафиксировать в договоре); провести обучение бригадиров правилам фиксации отклонений [1]; начать ежемесячное подведение итогов по дефектам. Ожидаемый результат: накоплена первичная статистика, достаточная для расчёта $I_{\text{упр}}$ по завершённым проектам.

Этап 2 (4–6 месяцев) – внедрение упрощённой методики (уровень 3). Цель: переход к систематическому управлению качеством по упрощённой версии (п. 4.2). Действия: разработать и утвердить укороченный чек-лист рисков (5–7 отказов) на основе типовых отказов; внедрить шаблон паспорта результативности проекта с расчётом $I_{\text{упр}}$; обязать руководителей проектов заполнять паспорт и реестр КД; провести разбор двух-трёх завершённых проектов с выявлением основных проблем; внедрить процедуру корректирующих действий (рассмотрение на оперативном совещании). Ожидаемый результат: все проекты имеют паспорт, показатель $I_{\text{упр}}$ рассчитывается, началось накопление базы КД.

Этап 3 (7–12 месяцев) – расширение и переход к полной методике (уровень 4). Цель: охват всех этапов модели, использование FMEA. Действия: детализировать структурно-функциональную модель до 7 этапов (построить карту процесса); разработать полные чек-листы для основных классов работ (10–15 отказов); провести первичный FMEA организационного процесса (силами отдела качества или с внешним консультантом); начать расчёт всех четырёх составляющих Q , T , E , R с экспертными весами; автоматизировать сбор данных (электронные формы с автоматизированным расчётом I); внедрить ежеквартальный аудит применения чек-листов. Ожидаемый

результат: система менеджмента качества соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (кроме, возможно, формальной сертификации).

Этап 4 (13–24 месяца) – оптимизация и постоянное улучшение (уровень 5). Цель: полное использование математической модели, интеграция с бизнес-процессами. Действия: провести первичную калибровку границ RH_{min} и RH_{lim} по накопленной статистике (не менее 10 проектов каждого типа) с последующим ежегодным пересмотром при накоплении не менее 5 новых проектов (п. 2.3.6); внедрить автоматизированный расчёт I через корпоративную информационную систему; использовать анализ чувствительности (п. 3.3.4) для корректировки весов α , β , γ , δ ; раз в полгода проводить стратегическую сессию по улучшению процесса с участием руководства; внедрить бенчмаркинг – сравнение I с отраслевыми нормативами; при необходимости пройти сертификацию системы менеджмента качества на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Ожидаемый результат: система работает в режиме постоянного улучшения, I по проектам растёт, риски снижены.

4.4 Оценка экономического эффекта от внедрения методики

Экономический эффект от внедрения методики оценивается как предотвращённые потери по трём каналам, на которые методика воздействует непосредственно: перерасход сметной стоимости, затраты на качество (контроль, переделки, гарантийный ремонт) и задержки выполнения проектов. Для каждого канала берётся разность средних удельных потерь по группам проектов, выполненных до и после внедрения корректирующих действий (п. 3.3), и умножается на объём проектов, реализуемых по методике:

$$\mathcal{E} = (\delta_{\text{до}} - \delta_{\text{после}}) \cdot V + (\text{ДРОК}_{\text{до}} - \text{ДРОК}_{\text{после}}) \cdot V + (\tau_{\text{до}} - \tau_{\text{после}}) \cdot T_{\text{план}} \cdot c_{\text{дн}}, \quad (4.5)$$

где δ – средний относительный перерасход сметной стоимости (доля от плановой стоимости); ДРОК – средняя доля затрат на качество в стоимости проекта; τ – средняя относительная задержка (доля от плановой длительности, учитываются только положительные отклонения); V – плановая стоимость проектов, выполняемых по методике за период, руб.; $T_{\text{план}}$ – суммарная

плановая длительность этих проектов, дн.; $c_{\text{дн}}$ – стоимость одного дня задержки, руб./дн. (по договорной неустойке или по внутренней оценке потерь от простоя; при отсутствии данных принимается 0,1 % плановой стоимости проекта в день).

Оба стоимостных канала выражены через показатели составляющей E (п. 2.3.5): относительный перерасход сметы связан с коэффициентом использования плановых затрат соотношением $\delta = 1/\text{КИПЗ} - 1$ (при $\text{КИПЗ} < 1$), а доля затрат на качество совпадает с показателем ДРОК; тем самым экономический эффект оценивается по тем же исходным данным, что и составляющая E интегрального показателя.

Первые два слагаемых пропорциональны стоимости проектов, третье – их длительности; при усреднённой длительности, характерной для ремонтно-строительных проектов, третье слагаемое также удобно выразить в долях стоимости. Тогда формула (4.5) сводится к ставке эффекта ε – доле предотвращённых потерь в плановой стоимости проектов:

$$\varepsilon = \varepsilon \cdot V,$$

$$\varepsilon = (\delta_{\text{до}} - \delta_{\text{после}}) + (\text{ДРОК}_{\text{до}} - \text{ДРОК}_{\text{после}}) + (\tau_{\text{до}} - \tau_{\text{после}}) \cdot \frac{T_{\text{план}} \cdot c_{\text{дн}}}{V}. \quad (4.6)$$

Исходные данные для расчёта ε получены по десяти проектам п. 3.2–3.3 (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Удельные потери по группам проектов до и после внедрения корректирующих действий

Канал потерь	Показатель	«До» (n = 6)	«После» (n = 4)	Снижение, п. п.
Перерасход сметы	δ , % от плановой стоимости	7,0	2,4	4,6
Затраты на качество	ДРОК, % от стоимости проекта	7,17	6,88	0,29
Задержки	τ , % от плановой длительности	13,6	6,8	6,8

Для четырёх проектов группы «после» ($V = 5,0$ млн руб., $T_{\text{план}} = 108$ дн., $c_{\text{дн}} = 0,1$ % средней плановой стоимости проекта, т. е. 1,25 тыс. руб./дн.) по формуле (4.5): предотвращённый перерасход $0,046 \cdot 5,0 = 0,230$ млн руб.; экономия затрат на качество $0,0029 \cdot 5,0 = 0,015$ млн руб.; сокращение задержек $0,068 \cdot 108 \cdot 1,25 \approx 0,009$ млн руб. Итого $\varepsilon = 0,254$ млн руб., ставка

эффекта $\varepsilon = 0,254 / 5,0 \approx 5,1 \%$ плановой стоимости проектов; около 90 % эффекта формируется снижением перерасхода сметы.

Годовой экономический эффект для организаций, внедривших методику, определён по формуле (4.6) исходя из плановой годовой стоимости проектов, переведённых на методику (таблица 4.6). Для ООО «СМИТ», на проектах которого выполнена апробация полной методики (глава 3), при годовом объёме 40 млн руб. эффект составляет около 2,05 млн руб.; для ИП Гужин В. А., внедрившего упрощённую методику (п. 4.2), при годовом объёме 9 млн руб. – около 0,45 млн руб. Результаты внедрения подтверждены актами (Приложение 10).

Таблица 4.6 – Годовой экономический эффект от внедрения методики

Организация	Внедрённая версия методики	Плановая годовая стоимость проектов $V_{\text{год}}$, млн руб.	Ставка эффекта ε	Годовой эффект, млн руб.
ООО «СМИТ»	Полная (п. 4.1)	40	0,051	2,05
ИП Гужин В. А.	Упрощённая (п. 4.2)	9	0,051	0,45

Оценка носит расчётный характер и сопровождается следующими оговорками: ставка ε получена на выборке из 6 + 4 проектов и подлежит уточнению по мере накопления данных (по тем же формулам, по факту завершения проектов года); для упрощённой методики ставка принята равной ставке полной методики, поскольку основной канал эффекта – снижение перерасхода сметы за счёт входного контроля и планирования – в упрощённой версии сохраняется, однако фактический эффект может быть ниже; эффект по задержкам приведён при консервативном значении $c_{\text{дн}}$ и при договорной неустойке может быть существенно выше; снижение трудоёмкости оценки рисков в 5–7 раз (п. 3.1.8) в денежный эффект не включено и может учитываться дополнительно как экономия рабочего времени инженерного персонала.

4.5 Выводы по главе

1. Разработана методика повышения результативности процессов реализации строительных проектов в двухуровневой системе «организационный процесс – технологические процессы», адаптированная

под масштаб строительной организации. Полная версия (на базе ГОСТ Р ИСО 9001-2015) включает три взаимосвязанных контура PDCA (стратегический, тактический и оценочный) и предназначена для средних и крупных компаний, а упрощённая – для малых предприятий с ограниченными ресурсами, сохраняя при этом ключевые принципы риск-ориентированного подхода и постоянного улучшения.

2. Методика обеспечивает сквозную интеграцию требований ГОСТ Р ИСО 9001-2015 через матрицу соответствия. Все элементы – от структурно-функциональной модели процесса до FMEA-анализа и расчёта интегрального показателя I – увязаны с конкретными разделами стандарта, что позволяет организации выстроить систему менеджмента качества, готовую к сертификации.

3. Методика использует разработанный в главе 2 интегральный показатель результативности I , агрегирующий качество (Q), соблюдение сроков (T), результативность использования ресурсов (E) и рискоустойчивость (R). Для упрощённой версии показатель адаптирован как частный случай полной модели: те же четыре составляющие с равными весами, укороченные чек-листы и фиксированные границы нормирования, что снижает трудоёмкость расчётов без потери содержательной ценности.

4. Внедрение методики предложено проводить поэтапно, с учётом уровня зрелости системы менеджмента качества организации (от начального до оптимизирующего). Пошаговый план позволяет последовательно наращивать культуру качества, минимизируя сопротивление и ресурсные затраты на каждом этапе.

5. Методика носит практико-ориентированный характер: все процедуры снабжены перечнем обязательных документов, распределением ролей и ответственности, а также шаблонами, что обеспечивает готовность к применению в реальной строительной организации.

6. Предложена методика оценки экономического эффекта от внедрения как предотвращённых потерь по трём каналам – перерасход сметы, затраты на качество и задержки, – сводящаяся к ставке эффекта в долях плановой

стоимости проектов. По данным апробации ставка эффекта составила около 5,1 % плановой стоимости проектов, из которых около 90 % формируется снижением перерасхода сметы. Расчётный годовой экономический эффект от внедрения методики (полной – в ООО «СМИТ», упрощённой – у ИП Гужин В. А.) составляет 2,5 млн руб.; результаты внедрения подтверждены актами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача повышения результативности и качества процессов реализации строительных проектов на основе совершенствования инструментария управления качеством, включающего процессное моделирование, комплексную оценку и анализ рисков. Поставленная цель достигнута, все задачи исследования решены, что подтверждается результатами теоретических и экспериментальных исследований.

Основные научные и практические результаты работы следующие.

1. Проведён анализ особенностей строительной деятельности промышленных предприятий и выявлены системные проблемы управления качеством: отсутствие стандартизированных методик оценки качества процессов; низкая прозрачность выбора подрядчиков и поставщиков; недостаточная клиентоориентированность; неадаптированность методов риск-менеджмента к специфике строительных проектов. Установлено, что строительная деятельность принципиально отличается от серийного промышленного производства (индивидуальный характер продукции, высокая вариативность исходных данных, рассредоточенный характер производства, зависимость от природно-климатических факторов), что предопределяет необходимость адаптации инструментов управления качеством к условиям единичного производства. Сравнительный анализ методологий моделирования процессов (IDEF0, ARIS, UML, EPC, BPMN) показал, что для строительных проектов наиболее адекватна нотация BPMN 2.0; анализ систем оценки проектов и подрядчиков обосновал применение мультипликативной свёртки критериев, реализующей принцип «слабого звена». Обосновано позиционирование работы в специальности 2.5.22: объектом исследования являются процессы строительной деятельности как объекты управления качеством, а инструментальной основой – инженерные методы оценки рисков и результативности процессов, реализующие требования ГОСТ Р ИСО 9001-2015.

2. Разработана обобщённая многоуровневая структурно-функциональная модель процесса реализации проектов строительной деятельности промышленного предприятия в нотации BPMN 2.0, охватывающая полный жизненный цикл (от планирования до завершения цикла и улучшений) и включающая семь основных этапов, а также дополнительный этап, отражающий внедрение корректирующих действий подрядчиком. Модель интегрирует альтернативные пути выполнения работ (собственными силами или с привлечением подрядчика) и встраивает элементы управления качеством на каждом этапе. Выполнена детализация процессов второго уровня, определены входы, выходы, задействованные ресурсы и нормативно-управляющая документация для каждого этапа. Определено место разработанного методического аппарата в системе менеджмента качества предприятия: элементы методики увязаны с пунктами ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (таблица 4.1).

3. Разработан комплекс показателей и математическая модель интегральной оценки результативности процесса реализации строительного проекта, отличающаяся сквозным учётом четырёх ключевых аспектов результативности процесса: качества выполняемых работ (Q), соблюдения сроков (T), результативности использования ресурсов (E) и рискоустойчивости (R). Модель построена на мультипликативной свёртке составляющих при аддитивной агрегации внутри этапов, что позволяет количественно диагностировать «слабые звенья» процесса и оценивать результативность корректирующих воздействий; введён показатель рисконасыщенности процесса. Комплекс включает 28 поэтапных показателей качества, 6 показателей результативности использования ресурсов и показатель соблюдения сроков, рассчитываемый по всем задачам процесса. В составе комплекса разработана система оценки подрядчиков (7 категорий, 21 показатель), обеспечивающая их объективное ранжирование на основе интегральной оценки.

4. Разработана адаптированная к процессам строительной деятельности промышленных предприятий методика анализа рисков организационного и технологических процессов на основе FMEA: разработаны оригинальные критерии оценки параметров риска – значимости последствий (S), вероятности возникновения (O) и вероятности обнаружения (D) – с учётом специфики строительных технологических и организационных процессов. Проведён FMEA-анализ организационного процесса реализации строительного проекта по всем семи этапам: выявлено 29 отказов, суммарная рисконасыщенность процесса составила 5980, показатель рискоустойчивости $R_{\text{общ}} = 0,536$ (средний уровень); наибольшая рисконасыщенность (42,6 %) приходится на этап выбора подрядчика, где наиболее критичны отсутствие исторических данных о качестве подрядчика (ПЧР = 336), мошеннические предложения (ПЧР = 300), некорректные критерии оценки (ПЧР = 280) и включение сомнительных подрядчиков (ПЧР = 270). По результатам внедрения корректирующих действий ПЧР этих отказов снижены на 29–33 %, рисконасыщенность процесса – на 7,5 %, $R_{\text{общ}}$ повышен до 0,624. Разработана упрощённая методика оценки рисков технологических процессов на основе типовых чек-листов, снижающая трудоёмкость анализа в 5–7 раз; по ней проанализированы технологические процессы десяти проектов (рисконасыщенность от 2450 до 4400).

5. Разработана методика повышения результативности процессов строительной деятельности в двухуровневой системе «организационный процесс – технологические процессы», построенная на трёх взаимосвязанных контурах PDCA: стратегическое улучшение организационного процесса; текущее управление качеством проектов; комплексная оценка и улучшение на основе интегрального показателя. Для малых строительных организаций предложена упрощённая версия методики, являющаяся частным случаем полной: те же четыре составляющие интегрального показателя с равными весами, укороченные чек-листы рисков и минимальный документооборот. Методика интегрирует все разработанные инструменты и позволяет системно

реализовать требования ГОСТ Р ИСО 9001-2015 в условиях единичного строительного производства. Разработаны рекомендации по поэтапному внедрению методики с учётом уровня зрелости организации (от начального до оптимизирующего) и методика оценки экономического эффекта от внедрения через сокращение потерь по перерасходу сметы, затратам на качество и задержкам.

6. Проведена апробация предложенных решений на десяти реальных ремонтно-строительных проектах ООО «СМИТ». До внедрения корректирующих действий пять из шести проектов имели неудовлетворительную результативность (I от 0,486 до 0,571; среднее по группе 0,553); ограничивающими составляющими являлись результативность использования ресурсов и рискоустойчивость. Все четыре проекта, выполненные после внедрения корректирующих действий, перешли в зону удовлетворительной результативности (I от 0,604 до 0,673, среднее 0,636); прирост среднего I составил 15,0 %, разброс значений сократился вдвое. Различие статистически значимо по интегральному показателю и качеству (точный U -критерий Манна–Уитни, $p = 0,033$; t -критерий, $p \leq 0,007$) при большом размере эффекта (d Коэна 1,77 и 1,91); различие по рискоустойчивости значимо по t -критерию ($p = 0,035$). Анализ чувствительности показал устойчивость выводов к выбору весовых коэффициентов (прирост 13–16 % при ρ Спирмена $\geq 0,94$). Декомпозиция прироста показала, что наибольший вклад вносит рискоустойчивость (49,5 %), затем качество (24,3 %), что подтверждает результативность разработанных на основе FMEA мер по управлению рисками. Апробация системы оценки подрядчиков на трёх организациях показала её способность различать сегменты рынка и служить инструментом развития поставщиков (повышение интегральной оценки с 69,9 до 81,5 балла по результатам развивающего аудита). Расчётный годовой экономический эффект от внедрения составил 2,05 млн руб. для ООО «СМИТ» и 0,45 млн руб. для ИП Гужин В. А., что подтверждено актами внедрения.

Перспективы дальнейших исследований связаны с накоплением статистики по проектам разных типов для перцентильной калибровки границ нормирования рисконасыщенности и уточнения весовых коэффициентов, с расширением выборки для статистической проверки на объёмах, превышающих 6 и 4 проекта, с автоматизацией расчёта интегрального показателя в корпоративных информационных системах и интеграцией с технологиями информационного моделирования, а также с распространением методики на другие типы строительных проектов – капитальное строительство и инфраструктурные объекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеева, Е. С. Формирование системы бережливого производства на уровне «предприятие – вуз» как основа эффективной работы всех подсистем предприятия / Е. С. Авдеева, А. Е. Резник // Креативная экономика. – 2018. – Т. 12, № 9. – С. 1475–1482.
2. Адлер, Ю. П. Качество и рынок, или Как организация настраивается на обеспечение требований потребителей / Ю. П. Адлер // Поставщик и потребитель : сборник статей. – Москва : РИА «Стандарты и качество», 2000. – С. 35–81.
3. Азгальдов, Г. Г. Квалиметрия для всех : учебное пособие / Г. Г. Азгальдов, А. В. Костин, В. В. Садовов. – Москва : ИнформЗнание, 2012. – 165 с. – ISBN 978-5-906036-03-2.
4. Александрова, Н. Н. Комплексная оценка качества бизнес-процесса «Выполнение строительно-монтажных работ» на примере строительной организации / Н. Н. Александрова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 3 (22). – С. 104–113.
5. Аутсорсинг: создание высокоэффективных и конкурентоспособных организаций : учебное пособие / Б. А. Аникин, О. Б. Аникин, Т. А. Родкина [и др.] ; под ред. Б. А. Аникина. – Москва : ИНФРА-М, 2003. – 187 с. – ISBN 5-16-001602-3.
6. Баркалов, С. А. Разработка направлений применения нотации IDEF0 при управлении проектной строительной организацией / С. А. Баркалов, Е. А. Балабаева, Л. Д. Маилян // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 2. – С. 18–36.
7. Бравар, Ж.-Л. Эффективный аутсорсинг: понимание, планирование и использование успешных аутсорсинговых отношений / Ж.-Л. Бравар, Р. Морган ; пер. с англ. – Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2007. – 288 с. – ISBN 978-966-415-017-3.
8. Букалова, А. Ю. Методика выбора подрядной организации при проведении торгов на строительство на основе принципов субъектно-

ориентированного управления / А. Ю. Букалова, Г. Э. Букалов // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 4. – URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5399> (дата обращения: 07.09.2026). – Текст : электронный.

9. Буткова, Т. В. Внедрение системы IDEF-моделирования в управление строительным предприятием / Т. В. Буткова // Молодой ученый. – 2018. – № 46 (232). – С. 352–355.

10. Буч, Г. Язык UML. Руководство пользователя / Г. Буч, Д. Рамбо, И. Якобсон ; пер. с англ. Н. Мухина. – 2-е изд. – Москва : ДМК Пресс, 2006. – 496 с. – ISBN 5-94074-334-X.

11. Быстров, А. В. Аутсорсинг в строительстве: зарубежный опыт и российская практика / А. В. Быстров, В. И. Яковлев // Строительное производство. – 2018. – № 2. – С. 24–31.

12. Войнов, И. В. Моделирование экономических систем и процессов. Опыт построения ARIS-моделей : монография / И. В. Войнов, С. Г. Пудовкина, А. И. Телегин. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 392 с.

13. Гайдаенко, А. А. Логистика : учебник / А. А. Гайдаенко, О. В. Гайдаенко. – Москва : Палеотип, 2006. – 220 с.

14. ГОСТ Р 27.303-2021 (МЭК 60812:2018). Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 21 сентября 2021 г. № 987-ст : дата введения 2022-01-01. – Москва : Российский институт стандартизации, 2021.

15. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов : национальный стандарт Российской Федерации : принят и введен в действие постановлением Госстандарта России от 2 октября 2001 г. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2001.

16. ГОСТ Р 52380.1-2005. Руководство по экономике качества. Часть 1. Модель затрат на процесс : национальный стандарт Российской Федерации :

утвержден и введен в действие приказом Ростехрегулирования от 30 сентября 2005 г. – Москва : Стандартинформ, 2020. – (Переиздание).

17. ГОСТ Р 54869-2011. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 22 декабря 2011 г. № 1582-ст. – Москва : Стандартинформ, 2012.

18. ГОСТ Р 54985-2018. Руководящие указания для малых организаций по внедрению системы менеджмента качества на основе ИСО 9001:2015 : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 31 июля 2018 г. № 445-ст. – Москва : Стандартинформ, 2018.

19. ГОСТ Р 55048-2012. Системы менеджмента качества. Особые требования по применению ГОСТ Р ИСО 9001-2008 в строительстве : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 8 ноября 2012 г. – Москва : Стандартинформ, 2013.

20. ГОСТ Р 57363-2023. Управление проектом в строительстве. Деятельность управляющего проектом (технического заказчика) : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 24 августа 2023 г. № 734-ст : введен взамен ГОСТ Р 57363-2016 : дата введения 2023-09-01. – Москва : Российский институт стандартизации, 2023.

21. ГОСТ Р 58771-2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 17 декабря 2019 г. № 1405-ст : введен взамен ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. – Москва : Стандартинформ, 2020.

22. ГОСТ Р 66.1.03-2016. Оценка опыта и деловой репутации субъектов предпринимательской деятельности. Национальная система стандартов. Оценка опыта и деловой репутации строительных организаций : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в

действие приказом Росстандарта от 17 февраля 2016 г. – Москва : Стандартинформ, 2016.

23. ГОСТ Р ИСО 10006-2019. Менеджмент качества. Руководящие указания по менеджменту качества в проектах : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 20 августа 2019 г. – Москва : Стандартинформ, 2019.

24. ГОСТ Р ИСО 21500-2023. Управление проектами, программами и портфелями проектов. Контекст и основные понятия : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 30 октября 2023 г. № 1293-ст : введен взамен ГОСТ Р ИСО 21500-2014 : дата введения 2024-06-01. – Москва : Российский институт стандартизации, 2023.

25. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 10 декабря 2019 г. № 1379-ст : введен взамен ГОСТ Р ИСО 31000-2010 : дата введения 2020-03-01. – Москва : Стандартинформ, 2020.

26. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 56 с.

27. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 32 с.

28. ГОСТ Р ИСО 9004-2019. Менеджмент качества. Качество организации. Руководство по достижению устойчивого успеха организации : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 20 августа 2019 г. № 514-ст : дата введения 2020-10-01. – Москва : Стандартинформ, 2019.

29. Градостроительный кодекс Российской Федерации : Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ (с изменениями и дополнениями). – URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/21916> (дата обращения: 07.09.2026). – Текст : электронный.

30. Гумба, Х. М. Организация и планирование деятельности предприятий строительного сервиса : учебное пособие / Х. М. Гумба, А. М. Баженов. – Москва : Изд-во АСВ, 2019. – 312 с. – ISBN 978-5-4323-0214-2.

31. 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.

32. 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 : Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2024. – С. 528–536.

33. 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.

34. Деминг, Э. Выход из кризиса: Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Эдвардс Деминг ; пер. с англ. Ю. Адлера, В. Шпера. – 7-е изд. – Москва : Альпина Паблишер, 2016. – 417 с. – ISBN 978-5-9614-5264-8.

35. Дикман, Л. Г. Организация строительного производства : учебник для строительных вузов / Л. Г. Дикман. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во АСВ, 2006. – 608 с. – ISBN 5-93093-141-0.

36. Дьячков, М. Е. Моделирование производственного процесса при помощи математического аппарата сетей Петри / М. Е. Дьячков, П. А. Кобелев, Р. В. Шевченко // Технические науки: проблемы и решения : сборник статей по материалам XLVI–XLVII Международной научно-практической конференции. – 2021. – № 3–4 (43). – С. 52–56.

37. Ермолина, Л. В. Развитие строительной отрасли России в условиях дефицита кадров / Л. В. Ермолина, Н. Н. Пронина, Д. А. Мельникова // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 4 (23). – С. 148–153.
38. Иванова, Н. Н. Моделирование бизнес-процессов строительной организации с применением методологии ARIS / Н. Н. Иванова, Д. И. Трофименко // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 4 (27). – С. 243.
39. Исикава, К. Японские методы управления качеством / К. Исикава ; сокр. пер. с англ. ; науч. ред. и авт. предисл. А. В. Гличев. – Москва : Экономика, 1988. – 215 с. – ISBN 5-282-00114-4.
40. Каплан, Р. С. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Р. С. Каплан, Д. П. Нортона. – Москва : Олимп-Бизнес, 2003. – 304 с.
41. Ключков, Ю. С. Управление процессами систем менеджмента качества с учетом требований потребителя / Ю. С. Ключков // Компетентность. – 2011. – № 2. – С. 28–33.
42. Козловский, В. Н. Модели и инструменты обеспечения эффективности деятельности фирменного автосервиса : монография / В. Н. Козловский, Н. В. Афиногентова. – Тольятти : Изд-во ПВГУС, 2017. – 260 с.
43. Кувшинов, М. С. Интегральная оценка эффективности инвестиционных проектов на промышленных предприятиях / М. С. Кувшинов, Н. С. Комарова, М. И. Бажанова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2013. – Т. 7, № 4. – С. 52–55.
44. Кулаков, К. Ю. Цепочки создания ценности в строительстве на основе концепции бережливого производства в условиях цифровой трансформации / К. Ю. Кулаков, А. К. Орлов, В. С. Канхва // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 10. – С. 1647–1660. – DOI 10.22227/1997-0935.2023.10.1647-1660.

45. Курбанов, А. Х. Аутсорсинг как методология управления экономическими системами / А. Х. Курбанов // Экономика и управление. – 2011. – № 12-2 (74). – С. 91–94.

46. Кучерявенко, С. С. Механизмы управления качеством работы поставщиков на основе балльных оценок / С. С. Кучерявенко // Управление большими системами : сборник трудов / Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. – 2003. – Вып. 5. – С. 96–101. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mechanizmy-upravleniya-kachestvom-raboty-postavschikov-na-osnove-balnyh-otsenok> (дата обращения: 20.09.2026). – Текст : электронный.

47. Лapidус, А. А. Научно-техническое сопровождение изысканий, проектирования и строительства как обязательный элемент достижения требуемых показателей проекта / А. А. Лapidус // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14, № 11 (134). – С. 1428–1437. – DOI 10.22227/1997-0935.2019.11.1428-1437.

48. Лapidус, А. А. Применение риск-ориентированного подхода при выполнении функций строительного контроля технического заказчика / А. А. Лapidус, А. Н. Макаров // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17, № 2. – С. 232–241.

49. 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.

50. 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.

51. Минина, И. Д. Механизм взаимодействия предприятий строительной отрасли с образовательными организациями как способ привлечения кадров в отрасль / И. Д. Минина // Экономика, предпринимательство и право. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 347–362.

52. Модель сервисного обслуживания автомобилей в нотации BPMN как элемент стандартизации / Д. И. Панюков, О. В. Никишов, В. Н. Козловский, М. В. Ненашев // СТИН. – 2025. – № 5. – С. 28–35.

53. Назарова, О. Б. ARIS: теория и практика бизнес-моделирования : учебное пособие / О. Б. Назарова, Т. Б. Новикова, О. Е. Масленникова. – 3-е изд., стер. – Москва : ФЛИНТА, 2023. – 151 с.

54. Никишов, О. В. Интегральная оценка качества процесса сервисного обслуживания автомобилей / О. В. Никишов, Д. И. Панюков, В. Н. Козловский // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27, № 3 (125). – С. 83–91.

55. Никишов, О. В. Совершенствование инструментов управления процессами сервисного обслуживания автомобилей : дис. ... канд. техн. наук : 2.5.22 / Никишов Олег Викторович ; Самарский государственный технический университет. – Самара, 2025. – 192 с.

56. Николаева, Н. Г. Анализ и управление производственными рисками на примере ООО «Мостовик» / Н. Г. Николаева, С. М. Горюнова // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 15. – С. 144–146.

57. Новикова, Т. Б. IDEF0, DFD, IDEF3, FISHBONE, FTA: теория и практика бизнес-моделирования : учебное пособие / Т. Б. Новикова, О. Б. Назарова, В. Е. Петеляк. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2016. – 97 с.

58. Нюренбергер, Л. Б. Коммерческая концепция как фактор позиционирования торгово-развлекательных центров : монография / Л. Б. Нюренбергер. – Петропавловск-Камчатский, 2014. – 140 с.

59. О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд : Федеральный закон от 5 апреля 2013 г. № 44-ФЗ (с изменениями и дополнениями). – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201304080023> (дата обращения: 07.09.2026). – Текст : электронный.

60. Об установлении случаев, при которых застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства : постановление Правительства Российской Федерации от 5 марта 2021 г. № 331 (с изменениями и дополнениями). – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103100026> (дата обращения: 07.09.2026). – Текст : электронный.

61. Опарина, Л. А. IDEF0-моделирование жизненного цикла энергоэффективных зданий / Л. А. Опарина // Жилищное строительство. – 2011. – № 11. – С. 18–20.

62. Панюков, Д. И. Новое руководство по FMEA: анализ отказов процессов / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский, Д. И. Благовещенский // Методы менеджмента качества. – 2020. – № 12. – С. 30–36.

63. Панюков, Д. И. Новое руководство по FMEA: структурный анализ процессов / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский, Д. В. Айдаров // Методы менеджмента качества. – 2020. – № 10. – С. 36–42.

64. Панюков, Д. И. Новое руководство по FMEA: функциональный анализ процессов / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский, Д. И. Благовещенский // Методы менеджмента качества. – 2020. – № 11. – С. 30–35.

65. Панюков, Д. И. Проблемы приоритизации риска в рамках метода FMEA / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский, О. В. Никишов // Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении : сборник докладов IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Тула, 18–20 апреля 2023 г. – Тула : Тульский государственный университет, 2023. – С. 290–294.

66. Панюков, Д. И. Эффективное применение метода анализа видов, последствий и причин потенциальных дефектов (FMEA) в

автомобилестроении : монография / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский. – Самара : Изд-во СНЦ РАН, 2016. – 202 с.

67. Пахомова, В. С. Интеграция технологий оценки рисков в системе менеджмента качества строительной организации / В. С. Пахомова, Е. Н. Савчик // Управленческий учет. – 2024. – № 5. – С. 373–380.

68. Печенкина, Ю. А. О бизнес-процессах в строительной организации малого бизнеса / Ю. А. Печенкина, В. С. Провалов // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития : материалы II Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 16 июля 2017 г. – Чебоксары : ЦНС «Интерактив плюс», 2017. – С. 306–311. – ISBN 978-5-9500562-3-9.

69. Подиновский, В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Физматлит, 2007. – 256 с. – ISBN 978-5-9221-0812-6.

70. 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.

71. 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.

72. Р 50.1.028-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования : рекомендации по стандартизации : приняты постановлением Госстандарта России от 2 июля 2001 г. № 256-ст : дата введения 2002-07-01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2001.

73. 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.

74. Репин, В. В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В. В. Репин, В. Г. Елиферов. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 544 с. – ISBN 978-5-91657-554-5.

75. Решетникова, И. Г. Организация и управление в строительстве : учебник / И. Г. Решетникова, М. С. Гусаров, А. В. Копытова. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2019. – 79 с.

76. Романеева, Е. В. Особенности аутсорсинга в строительной отрасли / Е. В. Романеева, А. И. Семенов // Экономика строительства. – 2019. – № 4 (58). – С. 15–22.

77. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати ; пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – Москва : Радио и связь, 1993. – 278 с. – ISBN 5-256-00443-3.

78. Сборщиков, С. Б. Аутстаффинг и аутсорсинг в строительстве : монография / С. Б. Сборщиков, А. Г. Попков. – Москва : Стройинформиздат, 2025. – 189 с. – ISBN 978-5-91418-983-6.

79. Синенко, С. А. Внедрение методики оценки поставщиков как один из способов сокращения сроков строительства / С. А. Синенко, И. М. Мирошникова // Системные технологии. – 2018. – № 27. – С. 14–18.

80. СП 48.13330.2019. Организация строительства. СНиП 12-01-2004 : свод правил : утвержден приказом Минстроя России от 24 декабря 2019 г. № 861/пр : введен в действие с 25 июня 2020 г. : взамен СП 48.13330.2011 (с изменением № 1). – Москва : Минстрой России, 2020.

81. Способ оценки вклада общих и индивидуальных показателей для управления техническими и социально-экономическими системами / А. В. Варганов, А. А. Головин, А. В. Гривачев [и др.] // Информационные системы и технологии. – 2018. – № 4 (108). – С. 24–31.

82. Сравнительный анализ аддитивных и мультипликативных методов свертки критериев при интегральной оценке эффективности проектов / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский, М. В. Ненашев, Д. А. Деморецкий // СТИН. – 2026. – № 9. – С. 20–25. – EDN PAQXGZ.

83. Сырцов, Я. В. Разработка многофакторной методики оценки надежности аутсорсинговой компании / Я. В. Сырцов // Финансовые рынки и банки. – 2025. – № 12. – С. 659–661.

84. Терешко, Е. К. Разработка комплексной схемы процесса развития цифрового потенциала экономической деятельности субъектов строительного комплекса во взаимосвязи с региональной инновационной системой / Е. К. Терешко // Вестник Академии знаний. – 2024. – № 2 (61). – С. 424–433.

85. Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества : учебное пособие / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, В. Я. Белобрагин [и др.]. – Москва : РИА «Стандарты и качество», 2005. – 248 с.

86. Хаммер, М. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе / М. Хаммер, Дж. Чампи ; пер. с англ. Ю. Е. Корнилович. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2007. – 288 с. – ISBN 978-5-91657-203-2.

87. Хейвуд, Дж. Б. Аутсорсинг: в поисках конкурентных преимуществ / Дж. Брайан Хейвуд ; пер. с англ. Н. Е. Метоль, И. С. Половицы. – Москва : Вильямс, 2004. – 174 с. – ISBN 5-8459-0398-X.

88. Цифровизированный подход к ценообразованию в инвестиционно-строительных организациях с привлечением аутсорсинговых компаний / А. А. Шиховцов, Р. А. Шаронов, М. П. Лысенко, Ю. А. Александрова // Russian Economic Bulletin. – 2025. – Т. 8, № 1. – С. 167–173.

89. Шадрина, К. С. Управление рисками проекта: работа с подрядными организациями / К. С. Шадрина, А. Н. Коркишко // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 12. – URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6731> (дата обращения: 07.09.2026). – Текст : электронный.

90. Шатова, А. Д. Использование UML-диаграмм для оптимизации бизнес-процессов / А. Д. Шатова, Н. В. Логачева // Инновационная наука. – 2024. – № 6-2. – С. 66–68.

91. Шеер, А.-В. ARIS – моделирование бизнес-процессов / А.-В. Шеер ; пер. с англ. и ред. А. А. Рыбьянец. – 3-е изд. – Москва : Вильямс, 2009. – 223 с. – ISBN 978-5-8459-1449-1.
92. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) and The Standard for Project Management / Project Management Institute. – 7th ed. – Newtown Square, PA : Project Management Institute, 2021. – 370 p. – ISBN 978-1-62825-664-2.
93. Abdelgawad, M. Risk Management in the Construction Industry Using Combined Fuzzy FMEA and Fuzzy AHP / M. Abdelgawad, A. R. Fayek // Journal of Construction Engineering and Management. – 2010. – Vol. 136, No. 9. – P. 1028–1036. – DOI 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000210.
94. Cohen, J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences / J. Cohen. – 2nd ed. – Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, 1988. – 567 p. – ISBN 0-8058-0283-5.
95. 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. – EDN TFEVJD.
96. Failure Mode and Effects Analysis. FMEA Handbook. – 1st ed. – Southfield, MI : AIAG ; VDA, 2019. – 236 p.
97. Hatush, Z. Contractor selection using multicriteria utility theory: an additive model / Z. Hatush, M. Skitmore // Building and Environment. – 1998. – Vol. 33, No. 2–3. – P. 105–115. – DOI 10.1016/S0360-1323(97)00016-4.
98. Hatush, Z. Criteria for contractor selection / Z. Hatush, M. Skitmore // Construction Management and Economics. – 1997. – Vol. 15, No. 1. – P. 19–38. – DOI 10.1080/014461997373088.
99. Ho, W. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review / W. Ho, X. Xu, P. K. Dey // European Journal of Operational Research. – 2010. – Vol. 202, No. 1. – P. 16–24. – DOI 10.1016/j.ejor.2009.05.009.

100. IATF 16949:2016. Quality management system requirements for automotive production and relevant service parts organizations. – 1st ed. – [Southfield, MI] : International Automotive Task Force, 2016. – 61 p.
101. ISO 20400:2017. Sustainable procurement – Guidance. – Geneva : ISO, 2017. – 52 p.
102. ISO/IEC 19510:2013. Information technology – Object Management Group Business Process Model and Notation. – Geneva : ISO, 2013. – 348 p.
103. Juran's Quality Handbook: The Complete Guide to Performance Excellence / ed. J. A. DeFeo. – 7th ed. – New York : McGraw-Hill, 2017. – 992 p. – ISBN 978-1-259-64361-3.
104. 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.
105. Silver, B. BPMN Method and Style, with BPMN Implementer's Guide: A Structured Approach for Business Process Modeling and Implementation Using BPMN 2.0 / B. Silver. – 2nd ed. – Altadena, CA : Cody-Cassidy Press, 2011. – 286 p. – ISBN 978-0-9823681-1-4.
106. Stamatis, D. H. Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution / D. H. Stamatis. – 2nd ed. – Milwaukee, WI : ASQ Quality Press, 2003. – 666 p. – ISBN 978-0-87389-598-9.
107. Tofallis, C. Add or Multiply? A Tutorial on Ranking and Choosing with Multiple Criteria / C. Tofallis // INFORMS Transactions on Education. – 2014. – Vol. 14, No. 3. – P. 109–119. – DOI 10.1287/ited.2013.0124.
108. Triantaphyllou, E. Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study / E. Triantaphyllou. – Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2000. – 288 p. – (Applied Optimization ; vol. 44). – ISBN 0-7923-6607-7. – DOI 10.1007/978-1-4757-3157-6.
109. Voss, E. A BPMN-Based Process Map for the Design and Construction of Façades / E. Voss, Q. Jin, M. Overend // Journal of Facade Design and

Engineering. – 2013. – Vol. 1, No. 1–2. – P. 17–29. – DOI 10.7480/jfde.2013.1-2.646.

110. Zavadskas, E. K. Sustainable Decision-Making in Civil Engineering, Construction and Building Technology / E. K. Zavadskas, J. Antucheviciene, T. Vilutiene, H. Adeli // Sustainability. – 2018. – Vol. 10, No. 1. – Art. 14. – DOI 10.3390/su10010014.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Модели второго уровня для этапов 2–7 и 7* процесса реализации строительного проекта

Приложение содержит диаграммы второго уровня в нотации BPMN, перечни входов, выходов, ключевых документов, шлюзов и ресурсов (рисунки П1.1–П1.6) для этапов 2–7 и 7* процессной модели (п. 2.1.2). Этап 1 описан в п. 2.1.3.

Этап 2 «Выполнение работ собственными силами»

Входы: шлюз выбора исполнителя (собственные силы). Выходы: выполненная работа, готовая к приёмке-передаче. Ключевые документы: акт приёма-передачи объекта, акт приёма-передачи материалов, уведомление об окончании работ. Шлюзы: наличие материалов на складе; наличие замечаний при промежуточном контроле. Событие процесса: выполнение работ собственными ресурсами. Ресурсы: руководитель технического отдела, начальник участка, инженеры по безопасности, отдел закупок, отдел качества, рабочие, строительная техника, инструмент, складское оборудование и учётное ПО.

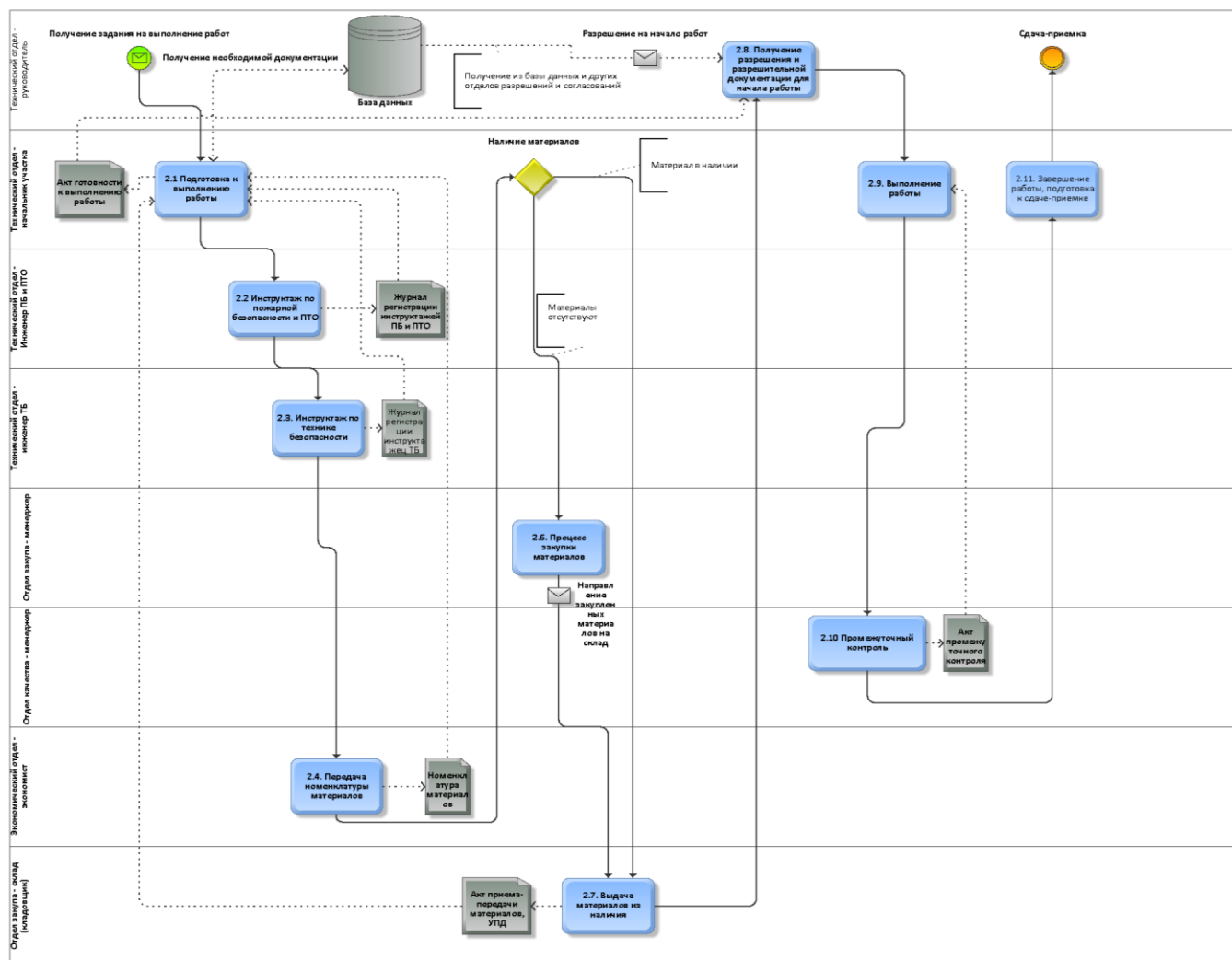


Рисунок П1.1 – Второй уровень, этап 2 «Выполнение работ собственными силами»

Этап 3 «Поиск подрядчика и заключение договора»

Входы: шлюз выбора исполнителя (внешний исполнитель), техническое задание, собственные базы данных исполнителей. Выходы: подписанный договор подряда/аутсорсинга. Ключевые документы: матрица оценки, протокол оценки, список потенциальных поставщиков, договор подряда/аутсорсинга, данные для первичной оценки. Шлюзы: проверка прохождения предварительного фильтра; проверка положительного решения руководителя. Событие процесса: выбор внешнего исполнителя, заключение договора подряда/аутсорсинга. Ресурсы: менеджер по закупкам, экономический, юридический, технический отделы и отдел качества, CRM-система, базы поставщиков и средства связи.

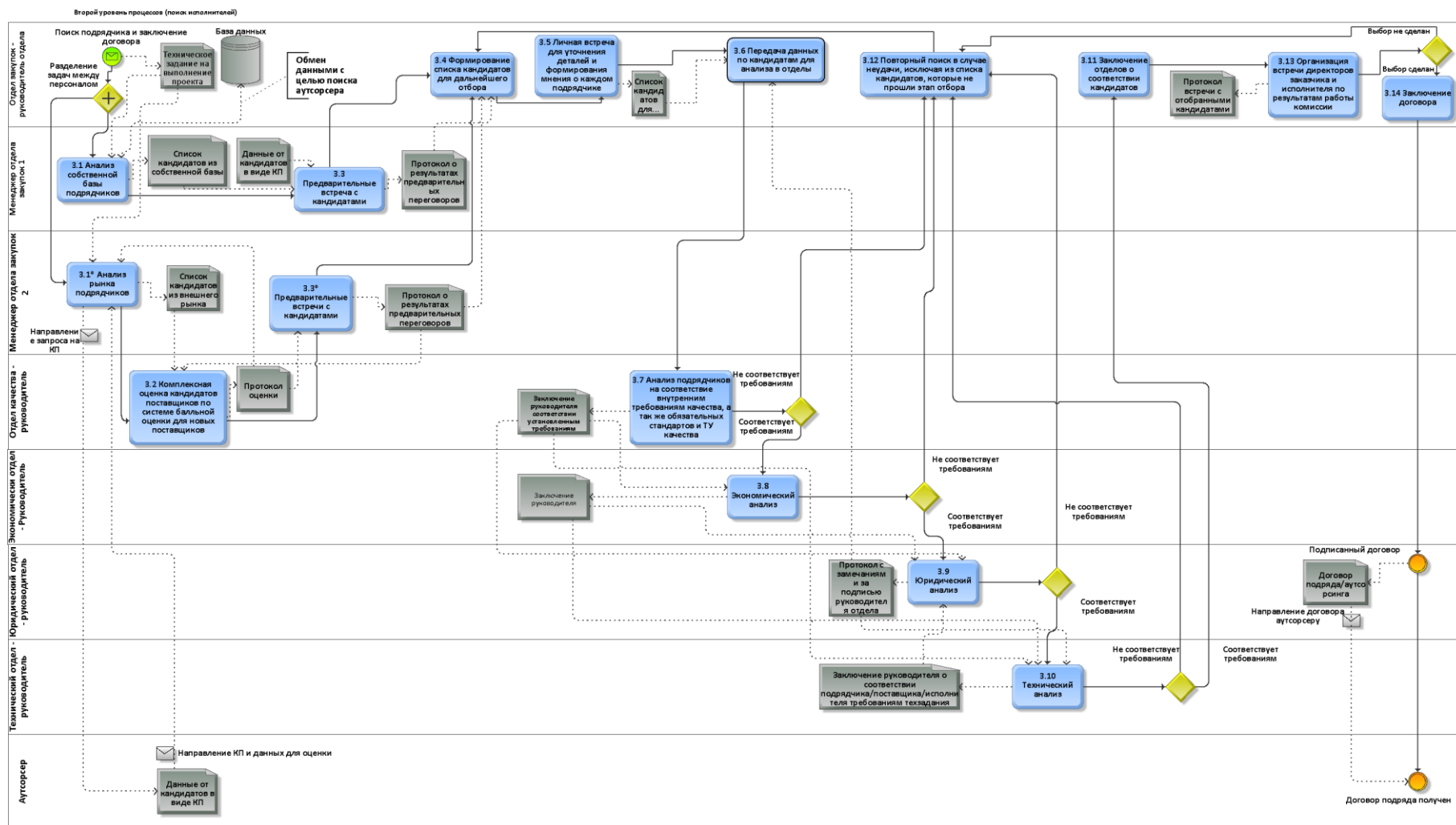


Рисунок П1.2 – Второй уровень, этап 3 «Поиск подрядчика и заключение договора»

Этап 4 «Выполнение работ по договору»

Входы: подписанный договор подряда/аутсорсинга. Выходы: выполненная работа, готовая к приёмке-передаче. Ключевые документы: акт приёма-передачи объекта, акт приёма-передачи материалов, договор подряда/аутсорсинга, уведомление об окончании работ. Шлюзы: наличие материалов у исполнителя. Событие процесса: начало и завершение работ по договору. Ресурсы: представители заказчика, подрядчик, отдел закупок, отдел качества и экономический отдел.

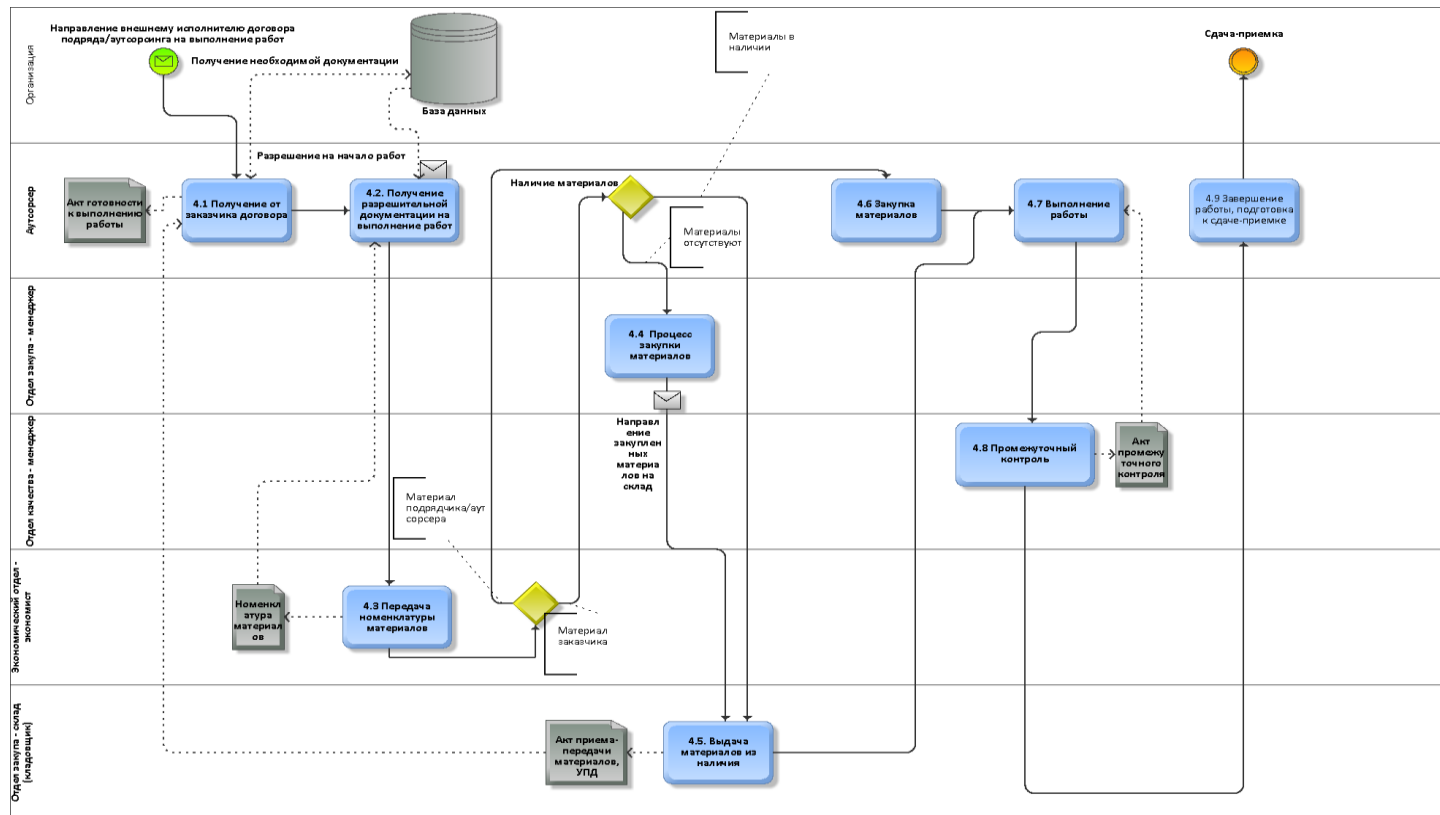


Рисунок П1.3 – Второй уровень, этап 4 «Выполнение работ по договору (аутсорсинг)»

Этап 5 «Сдача-приёмка работ»

Входы: выполненная работа, готовая к приёмке-передаче (от этапа 2 или этапа 4). Выходы: подписанный акт приёма-передачи. Ключевые документы: акт о выявленных недостатках, форма КС-2, форма КС-3, акт приёма-передачи работ, акт ввода в эксплуатацию. Шлюзы: наличие замечаний от отделов (экономического, юридического, качества). Событие процесса: акт приёма-передачи подписан. Ресурсы: руководство, технический, экономический, юридический отделы, отдел качества, средства измерений и документооборот.

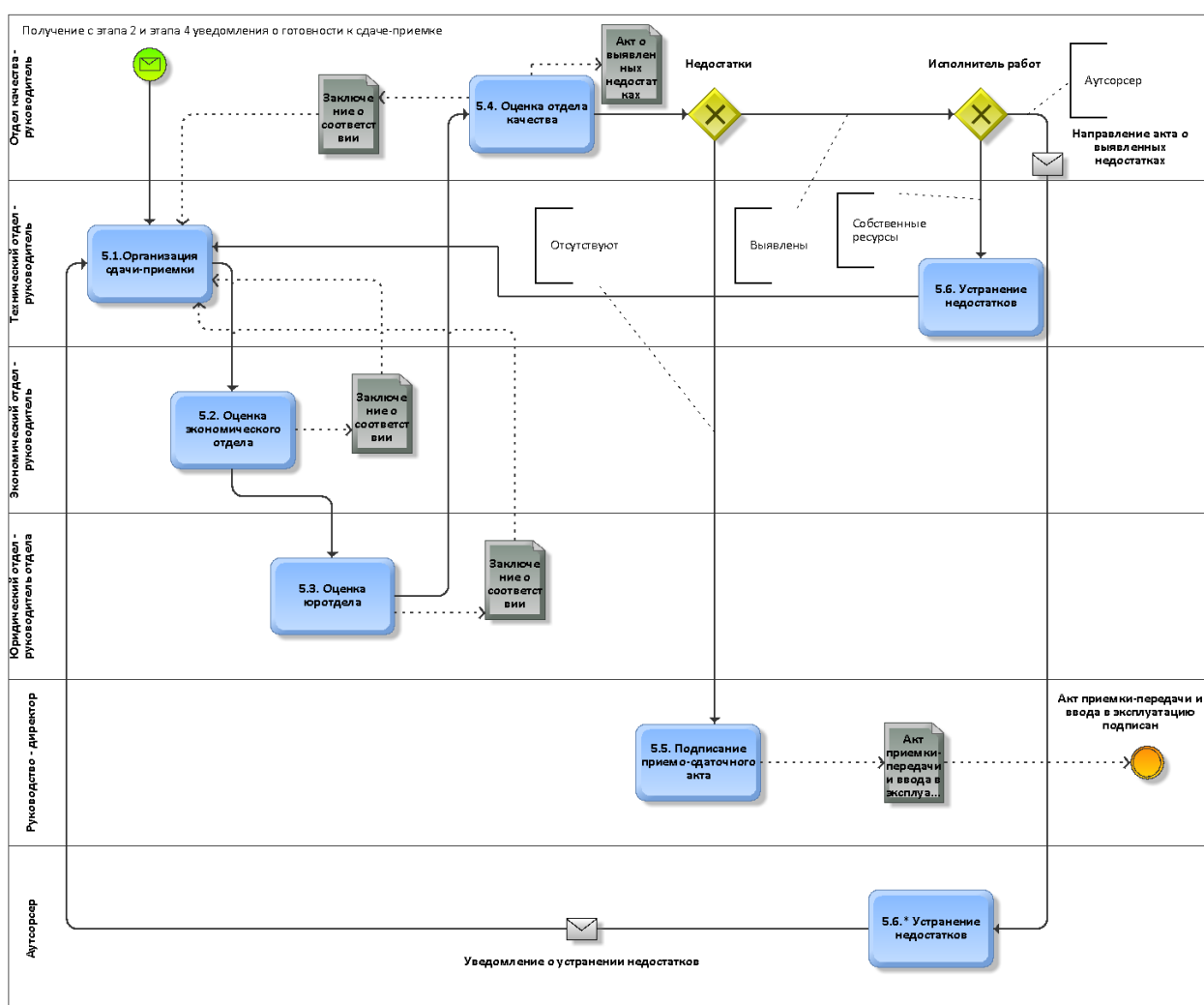


Рисунок П1.4 – Второй уровень, этап 5 «Сдача-приёмка работ»

Этап 6 «Эксплуатация»

Входы: подписанный акт приёма-передачи. Выходы: эксплуатационные данные (направляются в базу данных для последующего анализа на этапе 7). Ключевые документы: эксплуатационные данные. Шлюзы: наличие недостатков при периодическом осмотре; тип исполнителя (собственные силы/подрядчик) при юридической работе с недостатком. Событие процесса: направление эксплуатационных данных в базу данных. Ресурсы: служба эксплуатации, технический и юридический отделы, при необходимости – подрядчик, диагностические средства и учётное ПО.

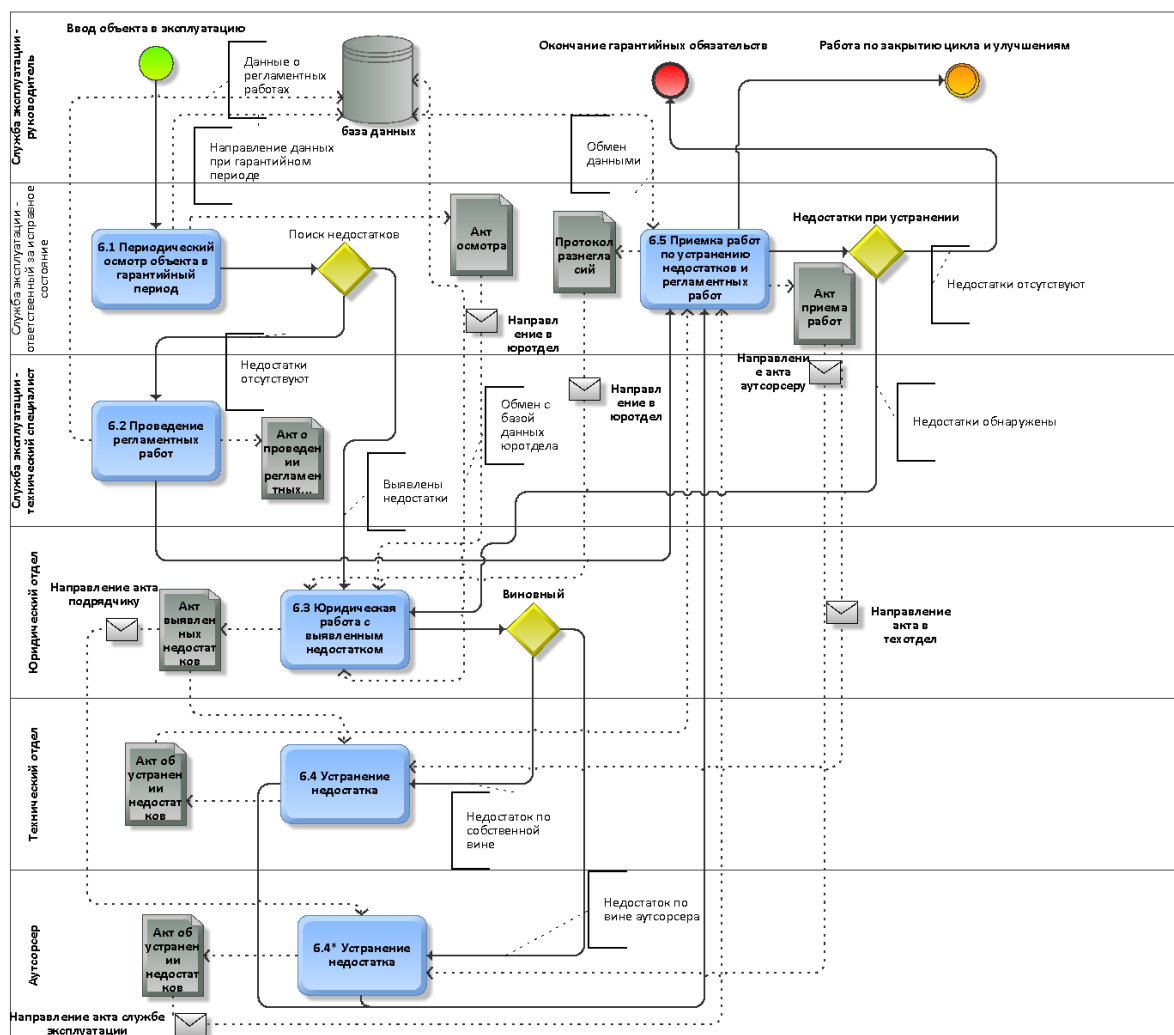


Рисунок П1.5 – Второй уровень, этап 6 «Эксплуатация»

Этап 7 «Завершение цикла и улучшения» и этап 7* «Внедрение корректирующих действий подрядчиком»

Этап 7. Входы: эксплуатационные данные, акты, отчёты, договоры, претензии, отзывы, данные по всем этапам проекта. Выходы: внедрение корректирующих действий подрядчиком (результат передаётся на этап 7*), а также обновлённая база данных для использования в будущих проектах. Ключевые документы: план-отчёт КД, протокол оценки подрядчика, предложения по улучшению работы с подрядчиками и собственными исполнителями, мероприятия по улучшению качества работ собственных подразделений. Шлюзы: на втором уровне присутствуют параллельные потоки анализа по семи направлениям. Событие процесса: мероприятия по повышению качества (разработка и внедрение корректирующих действий). Ресурсы: все ключевые отделы, системы документооборота и база проектов.

Этап 7*. Входы: направление заказчиком плана-отчёта КД подрядчику (выход этапа 7). Выходы: завершение цикла (возврат в исходное состояние для начала нового проекта с учётом внесённых улучшений). Ключевые документы: отчёт по корректирующим действиям подрядчика. Шлюзы: отсутствуют. Событие процесса: работа с корректирующими действиями заказчика (со стороны подрядчика).

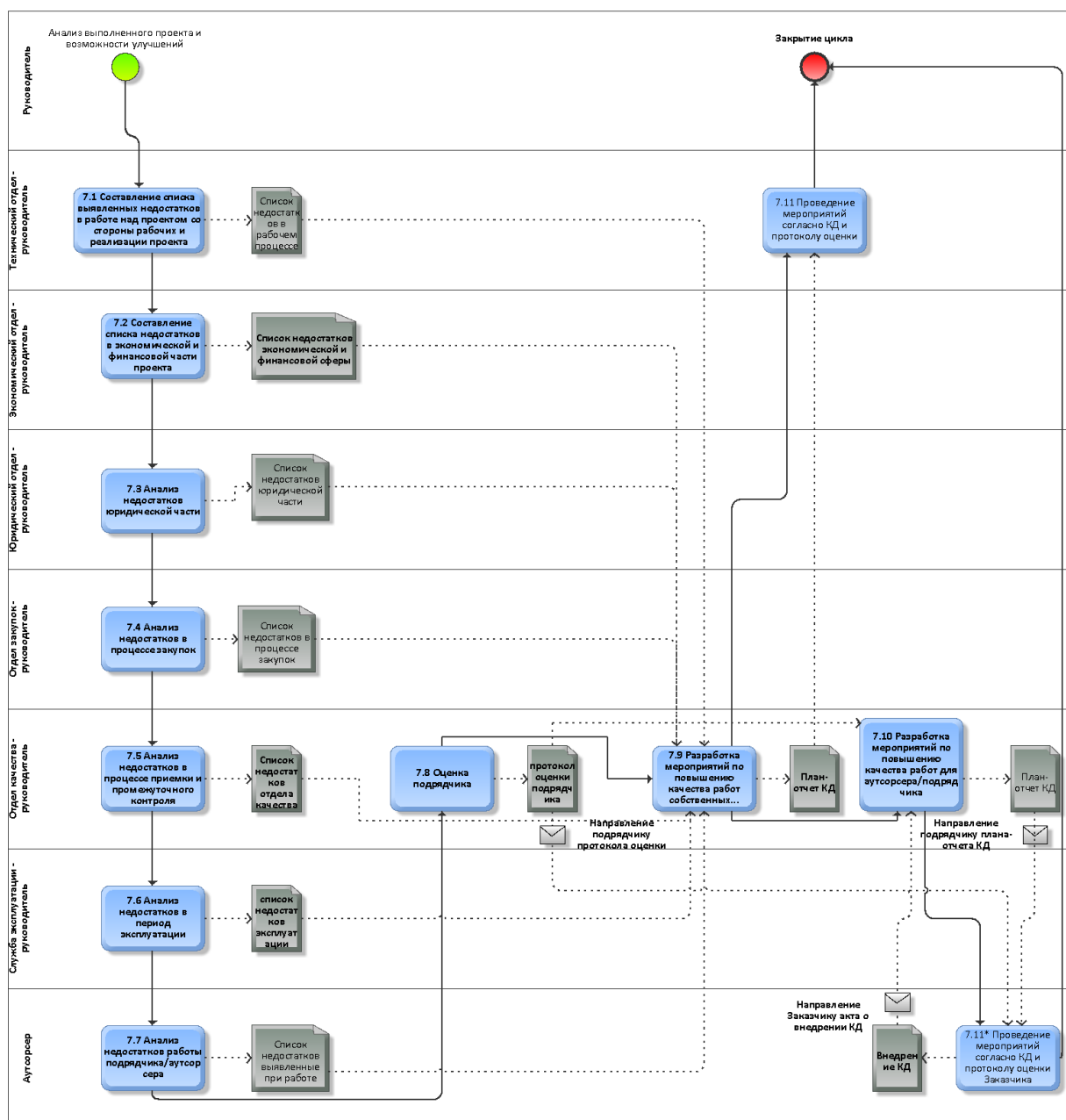


Рисунок П1.6 – Второй уровень, этап 7 «Завершение цикла и улучшения»

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Категории, показатели и метрики оценки подрядчиков при аутсорсинге в процессах реализации строительных проектов

Таблица П2.1 – Категории, показатели и метрики оценки подрядчиков при аутсорсинге в процессах реализации строительных проектов (полная таблица к таблице 2.4)

Наименование категории	Наименование показателя	Условное обозначение	Формула показателя	Формула категории	Исходные данные	Норматив	Методика сбора данных
1. Качество материалов и работ	1.1. Соответствие материалов ГОСТ/СНиП/ТУ	$P_{1.1}$	$P_{1.1} = \frac{C}{T} \cdot 100$	$B_1 = 0,4 \cdot P_{1.1} + 0,3 \cdot P_{1.2} + 0,3 \cdot P_{1.3}$	C – количество партий сертификатами	$\geq 95\%$	Акты приёмки, сертификаты. Ежемесячно. Ответственный: отдел качества.
	1.2. Уровень дефектов при поставке (%)	$P_{1.2}$	$P_{1.2} = 100 - (\frac{D}{T} \cdot 100)$		T – общее количество партий	$\leq 5\%$	Отчёты лабораторий, акты брака. Ежемесячно. Ответственный: отдел качества.
	1.3. Повторение претензий по качеству (за последние 6 месяцев)	$P_{1.3}$	$P_{1.3} = 100 - (\frac{R}{S} \cdot 100)$		D – количество дефектных партий R – количество повторных претензий S – общее количество поставок	$\leq 10\%$	Журнал претензий. Ежеквартально. Ответственный: юридический отдел.
2. Соблюдение сроков	2.1. Выполнение графика поставок материалов	$P_{2.1}$	$P_{2.1} \frac{A}{P} \cdot 100$	$B_2 = 0,5 \cdot P_{2.1} + 0,2 \cdot P_{2.2} + 0,3 \cdot P_{2.3}$	A – фактический срок	Отклонение $\leq 5\%$	ВМ-система, графики работ. Ежедневно. Ответственный: отдел логистики.
	2.2. Ритмичность поставок (отклонение $\pm 5\%$ от плана)	$P_{2.2}$	$P_{2.2} = 100 - (\frac{A - P}{P} \cdot 100)$		P – плановый срок	≥ 80 баллов	Отчёты о поставках. Ежемесячно. Ответственный: менеджер проекта.
	2.3. Своевременность завершения этапов	$P_{2.3}$	$P_{2.3}$ – экспертная оценка изВМ системы (0–100 баллов)			≤ 100 баллов	ВМ-отчёты, акты завершения этапов. Ежемесячно. Ответственный: прораб.

Наименование категории	Наименование показателя	Условное обозначение	Формула показателя	Формула категории	Исходные данные	Норматив	Методика сбора данных
3. Организация взаимодействия	3.1. Наличие сопроводительной документации (сертификаты, паспорта, акты, проекты)	P _{3.1}	$P_{3.1} \frac{F}{T} \cdot 100$	$V_3 = 0,4 \cdot P_{3.1} + 0,4 \cdot P_{3.2} + 0,2 \cdot P_{3.3}$	F – количество партий со всеми необходимыми документами T – общее количество партий	100 %	Архив документов. Ежемесячно. Ответственный: делопроизводитель.
	3.2. Оперативность реагирования на претензии (среднее время устранения дефектов)	P _{3.2}	$P_{2.2} = 100 - \left(\frac{E}{N} \cdot 100\right)$		E – фактическое время устранения дефектов N – нормативное время устранения дефектов	≤ 7 дней	Журнал претензий. Ежемесячно. Ответственный: отдел закупок.
	3.3. Гибкость условий контракта	P _{3.3}	Экспертная оценка (0–100 баллов) Анализ изменений в проекте			≤ 70 баллов	Переписка с поставщиком. Ежеквартально. Ответственный: юридический отдел.
4. Безопасность и экология	4.1. Соблюдение норм охраны труда на объекте	P _{4.1}	$P_{4.1} = 100 - (V \cdot 20)$	$V_4 = 0,5 \cdot P_{4.1} + 0,3 \cdot P_{4.2} + 0,2 \cdot P_{4.3}$	V – количество выявленных нарушений	0 нарушений	Акты проверок Роструда. Ежеквартально. Ответственный: инженер по охране труда.
	4.2. Экологическая безопасность материалов (использование сертифицированных ресурсов)	P _{4.2}	$P_{4.2} = 100$ – при наличии сертификатов = 0 – при отсутствии сертификатов			Наличие сертификатов	Сертификаты поставщика. Ежегодно. Ответственный: экологическая служба.
	4.3. Соблюдение норм пожарной безопасности	P _{4.3}	$P_{4.1} = 100 - (V \cdot 20)$			0 нарушений	Акты проверок МЧС России. Раз в 6 месяцев. Ответственный: инженер по пожарной безопасности.
5. Финансовая дисциплина	5.1. Соблюдение бюджета (отклонение ≤ 10 %)	P _{5.1}	$P_{5.1} = 100 - \left(\frac{B - O}{O} \cdot 100\right)$	$B_5 = 0,3 \cdot P_{5.1} + 0,4 \cdot P_{5.2} + 0,3 \cdot P_{5.3}$	B – фактические затраты O – плановые затраты M – возмещенная сумма L – общая сумма убытков	Отклонение ≤ 10%	Финансовая отчетность. Ежемесячно. Ответственный: бухгалтерия.
	5.2. Возмещение убытков из-за брака/простоев	P _{5.2}	$P_{5.2} = \frac{M}{L} \cdot 100$			≥ 95%	Акты сверки. Ежеквартально. Ответственный: финансовый контролер.
	5.3. Прозрачность отчетности	P _{5.3}	Экспертная оценка (0–100 баллов) Анализ финансовой отчетности			≥ 80 баллов	Аудиторские заключения. Ежегодно. Ответственный: внутренний аудит.
6. Лояльность и партнерство	6.1. Участие в совместных инновациях (внедрение BIM, энергоэффективных решений)	P _{6.1}	P _{6.1} = Q(экспертная оценка: 0–100)	$V_6 = 0,4 \cdot P_{6.1} + 0,3 \cdot P_{6.2} + 0,3 \cdot P_{6.3}$	Q – экспертная оценка K – количество контрактов длительностью более 5 лет	≥ 60 баллов	Отчеты о проектах. Ежегодно. Ответственный: отдел инноваций.

Наименование категории	Наименование показателя	Условное обозначение	Формула показателя	Формула категории	Исходные данные	Норматив	Методика сбора данных
7. Перспективность	6.2. Наличие долгосрочных контрактов	$P_{6.2}$	$P_{6.2} = K \cdot 50$		G – рейтинг на внешней платформе	≥ 2 контракта	Архив договоров. Ежегодно. Ответственный: отдел закупок.
	6.3. Репутация поставщика (отзывы заказчиков, рейтинги)	$P_{6.3}$	$P_{6.3} = G \cdot 20$			≥ 4 балла	Отзывы на платформах (СтройПортал). Ежегодно. Ответственный: PR-отдел.
	7.1. Наличие сертифицированной системы менеджмента качества (ISO 9001)	$P_{7.1}$	$P_{7.1}$ = 100 с сертификатом = 0 без сертификата	B_7 $= 0,2 \cdot P_{7.1} + 0,5 \cdot P_{7.2} + 0,3 \cdot P_{7.3}$	Z – балл за инвестиции Q – прогнозируемый рост поставок (0–5 баллов)	Наличие сертификата	Сертификаты. Ежегодно. Ответственный: отдел качества.
	7.2. Инвестиции в развитие (обновление оборудования, обучение персонала)	$P_{7.2}$	$P_{7.2} = Z$ (экспертная оценка: 0–100)			≥ 50 баллов	Отчёты поставщика. Ежегодно. Ответственный: технический отдел.
	7.3. Потенциал роста	$P_{7.3}$	$P_{7.3} = \frac{Q}{5} \cdot 100$			≥ 3 балла	Маркетинговые исследования. Ежегодно. Ответственный: аналитический отдел.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Показатели качества по этапам процесса реализации строительного проекта

Таблица ПЗ.1 – Сводная таблица показателей качества по этапам процесса (полная таблица к таблице 2.7)

Этап	Название показателя	Описание показателя	Формула	Методика расчёта (данные, ответственный, периодичность)	Критерии оценки (нормативный уровень)
1. Планирование выполнения работы	1.1 Достоверность планирования стоимости работ	Характеризует результативность этапа 1 по аспекту качества планирования: степень соответствия фактической стоимости работ плановой	$\Delta C = \frac{C_{fact} - C_{plan}}{C_{plan}} * 100\%$ Где: C_{fact} – фактические затраты на выполнение работ (руб.); C_{plan} – плановая стоимость согласно экономическому обоснованию (этап 1.6) (руб.).	Данные: Экономическое обоснование на выполнение работы (этап 1.6), итоговые затраты по проекту (акты КС-2, КС-3, данные бухгалтерии, этап 5). Кто: Экономический отдел. Как часто: По завершении этапа 5 (после приёмки работ).	Цель: $\leq \pm 5\%$ – высокая точность планирования. Допустимо: $\pm 5\%$ – $\pm 15\%$ – приемлемая погрешность, но требует анализа причин. Критично: $> \pm 15\%$ – грубые ошибки планирования, пересмотр методик расчёта.
	1.2 Достоверность планирования трудозатрат	Характеризует результативность этапа 1 по аспекту качества планирования трудовых ресурсов	$\Delta L = \frac{L_{fact} - L_{plan}}{L_{plan}} * 100\%$ Где: L_{fact} – фактические трудозатраты (человеко-часы); L_{plan} – плановые трудозатраты согласно экономическому обоснованию (человеко-часы).	Данные: Экономическое обоснование, таблицы учёта рабочего времени (этап 2), отчёты подрядчиков о трудозатратах (этап 4). Кто: ПТО, экономический отдел. Как часто: По завершении этапа 2 или 4 (для соответствующих работ).	Цель: $\leq \pm 5\%$ – хорошее совпадение. Допустимо: $\pm 5\%$ – $\pm 15\%$ – умеренное отклонение. Критично: $> \pm 15\%$ – существенный перерасход или невыполнение, влияющее на сроки и бюджет.
	1.3 Полнота учёта рисков	Характеризует результативность этапа 1 по аспекту управления рисками	$R_{cov} = \frac{N_{identified}}{N_{realized}} * 100\%$ Где: $N_{identified}$ – число реализовавшихся рисков, которые были предварительно идентифицированы и включены в план управления рисками; $N_{realized}$ – общее число реализовавшихся рисков за проект.	Данные: Реестр рисков, протоколы анализа (этап 1.3), постанализ проекта (этап 7). Кто: Риск-менеджер или руководитель проекта. Как часто: По окончании проекта.	Цель: $\geq 80\%$ – система управления рисками работает результативно. Допустимо: 60–80 % – средний уровень, требуется улучшение идентификации. Критично: $< 60\%$ – большинство рисков не были предвидены, необходима ревизия методики анализа.
2. Выполнение собственными силами	2.1 Выполнение плана работ	Характеризует результативность этапа 2 по аспекту выполнения запланированных объёмов работ за период	$VP = \frac{V_{fact}}{V_{plan}} * 100\%$ Где: V_{fact} – фактический объём выполненных работ за отчётный период (в рублях или натуральных единицах); V_{plan} – плановый объём работ на этот период.	Данные: Акты КС-2, план производства работ (этап 2.1). Кто: ПТО. Как часто: Ежемесячно.	Цель: 100 % – точное выполнение графика. Допустимо: 95–100 % – незначительное отставание. Критично: $< 90\%$ – существенное невыполнение, срыв сроков, требуется вмешательство.

Этап	Название показателя	Описание показателя	Формула	Методика расчёта (данные, ответственный, периодичность)	Критерии оценки (нормативный уровень)
	2.2 Уровень производительности труда (выработка на рабочего)	Характеризует результативность этапа 2 по аспекту использования трудовых ресурсов	$VP = \frac{V}{N}$ где V – объём работ за период (в валюте или нормо-часах); N – среднесписочная численность	Данные: Акты КС-2, таблицы учёта рабочего времени. Кто: Экономический отдел. Как часто: Ежемесячно.	Норматив: Индивидуально (сравнение с прошлыми периодами или отраслевыми показателями). Положительная динамика – признак результативности.
	2.3 Стабильность кадрового состава исполнителей	Характеризует результативность этапа 2 по аспекту стабильности исполнителей и её влияния на качество работ	$K_{tek} = \frac{N_{quit}}{N_{avg}} * 100\%$ где: N_{quit} – количество уволившихся работников за период; N_{avg} – среднесписочная численность за тот же период.	Данные: Приказы о приёме и увольнении работников, среднесписочная численность. Кто: Отдел кадров. Как часто: Ежеквартально.	Цель: < 5 % – низкая текучесть, стабильный коллектив. Допустимо: 5–10 % – средний уровень, характерный для строительной деятельности. Критично: > 10 % – высокая текучесть, угроза потери квалифицированных кадров и снижения качества.
	2.4 Уровень соблюдения технологической дисциплины	Характеризует результативность этапа 2 по аспекту соответствия производства работ установленной технологии	$N_{tech} = \frac{M}{V_{norm}}$ где: M – число зафиксированных нарушений технологии (из актов промежуточного контроля); V_{norm} – объём работ в нормо-часах (или в рублях) за тот же период.	Данные: Акты промежуточного контроля (этап 2.10), журналы производства работ. Кто: Отдел качества / технический надзор. Как часто: Еженедельно / по каждому контролю.	Цель: 0 – отсутствие нарушений. Допустимо: ≤ 0,01 на 100 н-ч – единичные незначительные отступления. Критично: > 0,05 на 100 н-ч – систематические нарушения, требуется приостановка работ и пересмотр технологии.
3. Поиск подрядчика и заключение договора	3.1 Результативность процедуры отбора подрядчика	Характеризует результативность этапа 3 по аспекту качества отбора исполнителя	$E_{tender} = \frac{N_{contract}}{N_{cand}} * 100\%$ где: $N_{contract}$ – количество заключённых договоров по итогам тендера; N_{cand} – общее количество кандидатов, включённых в список для оценки (этап 3.4).	Данные: Список кандидатов (этап 3.4), заключённые договоры, закупки. Кто: Отдел закупок. Как часто: По каждому тендеру.	Цель: 10–30 % – оптимальное соотношение, позволяющее выбрать лучшего без излишних затрат. Критично: < 5 % – слишком много отказов, возможно, неверно выбраны критерии отбора или рынок не соответствует требованиям.
	3.2 Ресурсоёмкость процедуры отбора подрядчика	Характеризует ресурсоёмкость процедуры отбора: доля затрат на отбор в цене договора	$C_{tender} = \frac{C_{proc}}{C_{contract}} * 100\%$ где: C_{proc} – затраты на проведение тендера (работа сотрудников, привлечение экспертов, организационные расходы); $C_{contract}$ – цена заключённого договора.	Данные: Смета затрат отдела закупок, данные бухгалтерии, сумма договора. Кто: Экономический отдел. Как часто: По каждому тендеру.	Цель: < 1 % – низкие издержки, результативная процедура. Допустимо: 1–2 % – приемлемый уровень. Критично: > 2 % – затраты неоправданно высоки, требуется оптимизация.

Этап	Название показателя	Описание показателя	Формула	Методика расчёта (данные, ответственный, периодичность)	Критерии оценки (нормативный уровень)
	3.3 Средний уровень надёжности отобранных подрядчиков	Характеризует результативность этапа 3 по аспекту качества отобранных исполнителей	$B_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n}$ где: B_i – интегральная оценка, выставленная i-му подрядчику по 100-балльной шкале; n – общее количество подрядчиков.	Данные: Заключение отделов (этапы 3.7–3.10). Кто: Тендерный комитет или руководитель отдела закупок. Как часто: Каждый тендер.	Цель: ≥ 90 – кандидат высокого уровня, приоритет в тендерах (отличный). Допустимо: 50–89 – надёжные и ненадёжные поставщики, могут быть выбраны при определённых условиях (таблица 2.5). Критично: < 50 – неудовлетворительный поставщик, отказ от сотрудничества.
	3.4 Доля договоров с выявленными несоответствиями (рекламациями)	Характеризует результативность этапа 3 по аспекту качества договорной работы	$D_{claim} = \frac{N_{claim}}{N_{total}} * 100\%$ где: N_{claim} – количество договоров, по которым зафиксированы претензии (акты о недостатках, гарантийные случаи, судебные иски); N_{total} – общее количество заключённых договоров за период.	Данные: База договоров, реестр претензий (этапы 5, 6). Кто: Юридический отдел. Как часто: Ежеквартально.	Цель: < 5 % – низкий уровень проблемных договоров. Допустимо: 5–10 % – умеренный уровень, требует анализа причин. Критично: > 10 % – высокий процент рекламаций, необходима переоценка процедур выбора подрядчиков.
4. Выполнение работ по договору (аутсорсинг)	4.1 Индекс выполнения договорных обязательств подрядчиком	Характеризует результативность этапа 4 по аспекту соблюдения подрядчиком договорных обязательств	$I_{contr} = \frac{C_{plan}}{C_{fact}} * (1 - D_{def})$ где: C_{plan} – договорная стоимость (руб.); C_{fact} – фактическая стоимость (руб.) (с учётом дополнительных соглашений, штрафов и т.д.); D_{def} – доля работ с дефектами (количество замечаний / общий объём работ в договоре).	Данные: Договор, акты КС-2, КС-3, акты промежуточного контроля (этап 4.8), дополнительные соглашения. Кто: Руководитель проекта, отдел качества. Как часто: По завершении этапа 4 (или после закрытия договора).	Цель: $\geq 0,95$ – отличное выполнение обязательств. Допустимо: 0,85–0,95 – хорошее, но есть незначительные отклонения. Критично: $< 0,85$ – существенные нарушения, возможно, невыполнение условий договора.
	4.2 Коэффициент своевременности поставок материалов	Характеризует результативность этапа 4 по аспекту соблюдения графика поставок	$K_{supply} = \frac{N_{ontime}}{N_{total}} * 100\%$ где: N_{ontime} – количество поставок, выполненных точно в срок по графику; N_{total} – общее количество плановых поставок.	Данные: Акты приёма-передачи материалов (этапы 4.5, 4.6), график поставок. Кто: Отдел закупок. Как часто: Ежемесячно.	Цель: 100 % – идеальная дисциплина поставок. Допустимо: 95–100 % – единичные задержки. Критично: < 90 % – систематические срывы, влияющие на ход работ.
	4.3 Уровень безопасности труда подрядчика	Характеризует результативность этапа 4 по аспекту соблюдения	$I_{sb} = \frac{M_{tb}}{H_{worked}} * 1000$	Данные: Журналы инструктажей, акты проверок ТБ со стороны заказчика, отчёты подрядчика.	Цель: 0 – отсутствие нарушений. Допустимо: $< 0,5$ – единичные незначительные нарушения. Критично: > 1 – высокий уровень нарушений,

Этап	Название показателя	Описание показателя	Формула	Методика расчёта (данные, ответственный, периодичность)	Критерии оценки (нормативный уровень)
		требований безопасности труда	где: M_{tb} – количество выявленных нарушений техники безопасности за период; H_{worked} – общее количество отработанных человеко-часов за тот же период.	Кто: Инженер по ТБ заказчика. Как часто: Ежемесячно.	угроза жизни и здоровью, возможна приостановка работ.
	4.4 Доля привлечённых субподрядчиков	Характеризует результативность этапа 4 по аспекту управляемости качества	$D_{sub} = \frac{V_{sub}}{V_{contract}} * 100\%$ где: V_{sub} – объём работ, переданных подрядчиком субподрядчикам (руб.); $V_{contract}$ – общий объём работ по договору (руб.).	Данные: Отчёты подрядчика, договоры субподряда (по запросу), акты выполненных работ субподрядчиков. Кто: Технический надзор заказчика. Как часто: По запросу, при оценке рисков.	Цель: < 30 % – подрядчик выполняет основной объём самостоятельно, сохраняя контроль качества. Допустимо: 30–50 % – умеренное привлечение субподрядчиков. Критично: > 50 % – высокая зависимость, риск потери управляемости качеством.
	4.5 Оперативность замены подрядчика при срыве обязательств	Характеризует результативность этапа 4 по аспекту устойчивости процесса к срыву обязательств исполнителем	$T_{replace} = D_{new} - D_{term} \text{ (дни)}$ где: D_{new} – дата заключения договора с новым подрядчиком; D_{term} – дата расторжения (или принятия решения о замене) предыдущего договора.	Данные: Договоры, акты расторжения, протоколы тендера. Кто: Отдел закупок. Как часто: По факту наступления события.	Цель: ≤ 15 дней – быстрая замена, минимизация простоя. Критично: > 30 дней – длительный простой, срыв сроков проекта.
5. Сдача-приемка работ	5.1 Коэффициент дефектности	Характеризует результативность этапа 5 по аспекту качества принимаемых работ	$K_{def} = \frac{M_{def}}{C_{work}}$ где: M_{def} – количество выявленных дефектов (замечаний) при приёмке; C_{work} – стоимость принимаемых работ (млн руб.).	Данные: Акты о выявленных недостатках (этап 5), акты КС-2, КС-3. Кто: Отдел качества. Как часто: По каждому акту приемки.	Цель: < 1 замечания/млн руб. – высокое качество. Допустимо: 1–2 замечания/млн руб. – приемлемый уровень, требующий устранения. Критично: > 2 замечаний/млн руб. – низкое качество, возможен отказ в приёмке.
	5.2 Полнота комплекта исполнительной документации	Характеризует результативность этапа 5 по аспекту документирования результатов работ	$K_{doc} = \frac{N_{prov}}{N_{req}} * 100\%$ где: N_{prov} – количество фактически предоставленных документов (акты, сертификаты, паспорта и т.д.); N_{req} – общее количество документов, требуемых по договору и нормативам.	Данные: Перечень исполнительной документации, акты приёмки, реестры переданных документов. Кто: Технический отдел. Как часто: На этапе 5 (при подготовке к сдаче).	Цель: 100 % – полный комплект, необходимый для эксплуатации. Допустимо: ≥ 95 % – отсутствие несущественных документов. Критично: < 90 % – серьёзные пробелы, задерживающие ввод объекта.

Этап	Название показателя	Описание показателя	Формула	Методика расчёта (данные, ответственный, периодичность)	Критерии оценки (нормативный уровень)
	5.3 Среднее время устранения одного замечания	Характеризует результативность этапа 5 по аспекту оперативности устранения несоответствий	$\bar{T}_{fix} = \frac{\sum (D_{fix} - D_{detect})}{M_{def}} \text{ (дни)}$ где: $D_{fix,j}$ – дата устранения j-го замечания (подписание акта об устранении); $D_{detect,j}$ – дата выявления j-го замечания (акт о недостатках); M – общее количество устранённых замечаний за период.	Данные: Акты о выявленных недостатках, уведомления об устранении (этап 5.6). Кто: Технический надзор. Как часто: По каждому циклу устранения, ежемесячно для сводки.	Цель: ≤ 3 дня – быстрое реагирование. Допустимо: 4–7 дней – умеренная скорость. Критично: > 7 дней – затягивание устранения, срыв графиков.
	5.4 Результативность претензионной работы (доля урегулирований без суда)	Характеризует результативность этапа 5 по аспекту урегулирования несоответствий без обращения в суд	$D_{claimC} = \frac{N_{claim} - N_{court}}{N_{claim}} * 100\%$ где: N_{claim} – количество договоров, по которым были зафиксированы претензии (акты о недостатках, гарантийные случаи); N_{court} – количество договоров из числа N_{claim}, по которым впоследствии были инициированы судебные разбирательства	Данные: Реестр претензий (этапы 5, 6), реестр судебных дел (юридический отдел). Кто: Юридический отдел совместно с руководителем проекта. Как часто: Ежеквартально / по завершении крупных проектов.	Цель: $\geq 90\%$ – абсолютное большинство споров решается в рабочем порядке, результативная договорная и претензионная работа. Допустимо: 75–90 % – приемлемый уровень, но требуется анализ причин судебных исков. Критично: $< 75\%$ – высокая доля судебных разбирательств, что влечет дополнительные издержки и репутационные риски.
	5.5 Доля несоответствий, перешедших в судебное разбирательство	Характеризует результативность этапа 5 по аспекту качества договорной и претензионной работы	$D_{court} = \frac{N_{court}}{N_{total}} * 100\%$ где: N_{court} – количество договоров, по которым были инициированы судебные разбирательства; N_{total} – общее количество заключённых договоров за период.	Данные: Юридический отдел (реестр судебных дел), база договоров. Юристы. Кто: Юристы. Как часто: Ежегодно.	Цель: 0 % – отсутствие судебных споров, признак качественной договорной работы. Допустимо: $< 2\%$ – единичные случаи. Критично: $> 5\%$ – системные проблемы в договорной работе или с подрядчиками.
6. Эксплуатация	6.1 Интенсивность отказов собственных служб (гарантийный период)	Характеризует результативность этапа 6 по аспекту надёжности результатов работ, выполненных собственными силами	$\lambda_c = \frac{N_{warr}}{T_{oper}} \text{ (мес.}^{-1}\text{)}$ где: N_{warr} – количество гарантийных случаев (выявленных недостатков) за период эксплуатации;	Данные: Акты осмотра (этап 6.1), заявки от службы эксплуатации, рекламации. Кто: Служба эксплуатации. Как часто: Ежемесячно, нарастающим итогом.	Цель: $< 0,5$ случая в месяц – низкая аварийность. Допустимо: 0,5–1,0 – средний уровень. Критично: $> 1,0$ – высокая частота отказов, требуется анализ причин и, возможно, гарантийный ремонт.

Этап	Название показателя	Описание показателя	Формула	Методика расчёта (данные, ответственный, периодичность)	Критерии оценки (нормативный уровень)
			T_{oper} – продолжительность эксплуатации в месяцах (обычно гарантийный период).		
	6.2 Интенсивность отказов подрядчиков (гарантийный период)	Характеризует результативность этапа 6 по аспекту надёжности результатов работ, выполненных подрядчиком	$\lambda_n = \frac{N_{warr}}{T_{oper}} \text{ (мес.}^{-1}\text{)}$ где: λ_n – отказы подрядчиков N_{warr} – количество гарантийных случаев (выявленных недостатков) за период эксплуатации; T_{oper} – продолжительность эксплуатации в месяцах (обычно гарантийный период).	Данные: Акты осмотра (этап 6.1), заявки. Кто: Служба эксплуатации. Как часто: Ежемесячно.	Цель: < 0,5 случая в месяц – низкая аварийность. Допустимо: 0,5–1,0 – средний уровень. Критично: > 1,0 – высокая частота отказов,
	6.3 Ресурсоёмкость устранения гарантийных отказов	Характеризует результативность этапа 6 по аспекту тяжести последствий гарантийных отказов через ресурсоёмкость их устранения	$\bar{C}_{warr} = \frac{\sum C_{repair}}{N_{warr}}$ где: $C_{repair,j}$ – стоимость устранения j-го гарантийного недостатка; N_{warr} – количество гарантийных случаев.	Данные: Акты о гарантийных недостатках, сметы и акты гарантийного ремонта (этап 6). Кто: Экономический отдел совместно со службой эксплуатации. Как часто: После 6 месяцев эксплуатации	Норматив: < 5 % от стоимости соответствующего этапа работ. Если средняя стоимость превышает этот порог, необходимо пересмотреть гарантийные обязательства или качество работ.
	6.4 Удовлетворённость службы эксплуатации	Характеризует результативность этапа 6 по аспекту эксплуатационной пригодности объекта	$S_{oper} = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{n} \text{ (баллы 1 – 5)}$ где: b_i – оценка i-го респондента по 5-балльной шкале; n – количество опрошенных сотрудников службы эксплуатации.	Данные: Анкеты, опросы службы эксплуатации после ввода объекта. Кто: Руководитель проекта. Как часто: После 6 месяцев эксплуатации	Цель: $\geq 4,5$ – высокая удовлетворённость, объект удобен в обслуживании. Допустимо: 4,0–4,5 – хороший уровень, есть мелкие замечания. Критично: < 4,0 – объект вызывает нарекания, требуется доработка проектных решений.
7. Завершение цикла и улучшения	7.1 Коэффициент полноты анализа недостатков	Характеризует результативность этапа 7 по аспекту полноты постпроектного анализа	$K_{analiz} = \frac{N_{lists}}{7} * 100\%$ где: N_{lists} – количество составленных списков недостатков по направлениям (этапы 7.1–7.7). Максимум – 7.	Данные: Наличие оформленных документов по каждому из семи направлений анализа (списки недостатков). Кто: Руководитель проекта. Как часто: На этапе 7 (при подведении итогов).	Цель: 100 % – все аспекты проекта проанализированы. Допустимо: ≥ 85 % – пропущены второстепенные направления. Критично: < 70 % – поверхностный анализ, высок риск повторения ошибок.
	7.2 Результативность корректирующих действий	Характеризует результативность этапа 7 по аспекту действенности	$E_{kd} = \frac{N_{prev}}{N_{impl}} * 100\%$	Данные: Сравнительный анализ проектов: списки недостатков этапов 7.1–7.7, база данных завершённых проектов, отчёты о внедрении КД. Для оценки предотвращения необходимо отслеживать возникновение	Цель: ≥ 70 % – большинство внедрённых мероприятий реально предотвращают повтор проблем, система улучшений работает. Допустимо: 50–70 % – средняя результативность, требуется анализ причин

Этап	Название показателя	Описание показателя	Формула	Методика расчёта (данные, ответственный, периодичность)	Критерии оценки (нормативный уровень)
		корректирующих действий	где: N_{prev} – количество предотвращённых повторных недостатков в последующих проектах (т. е. число зафиксированных ранее проблем, которые не возникли в новых проектах благодаря внедрённым корректирующим действиям); N_{impl} – общее количество внедрённых корректирующих действий (мероприятий) по итогам анализируемого проекта (из этапа 7).	аналогичных дефектов в последующих проектах (например, в течение года). Кто: Отдел качества совместно с руководителями проектов. Как часто: Ежегодно или после завершения нескольких проектов (чтобы накопить статистику).	низкой результативности части мероприятий. Критично: < 50 % – мероприятия нерезультативны, необходима ревизия процесса разработки и внедрения корректирующих действий.
	7.3 Полнота актуализации базы знаний	Характеризует результативность этапа 7 по аспекту закрепления накопленного опыта	$K_{bd} = \frac{N_{update}}{N_{plan}} * 100\%$ где: N_{update} – количество документов (регламентов, шаблонов, баз данных), фактически обновлённых по итогам проекта; N_{plan} – количество документов, запланированных к обновлению в плане корректирующих действий (этап 7.10).	Данные: Журнал изменений базы данных, план-отчёт КД (этап 7.10), приказы о внесении изменений. Кто: Администратор БД или ответственный за документооборот. Как часто: По завершении этапа 7.	Цель: 100 % – все намеченные улучшения внесены в базу знаний. Допустимо: ≥ 90 % – незначительные пропуски. Критично: < 80 % – низкая дисциплина документирования, потеря накопленного опыта.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Шкала интерпретации результата оценки рискоустойчивости

Таблица П4.1 – Шкала интерпретации результата оценки R и $N(PH)$ (полная таблица к таблице 2.12)

Диапазон R	Уровень R	Рисконасыщенность ($N(PH)$)	Интерпретация	Рекомендуемые управленческие действия
0,90 – 1,00	Очень высокий	0,00 – 0,10	«Зелёная зона». Процесс близок к эталонному. Выявленные риски минимальны и находятся в пределах допустимого. Вероятность срыва процесса из-за внутренних отказов крайне мала.	Плановый мониторинг. Достаточно стандартного контроля. Существенных изменений в конструкции процесса не требуется.
0,75 – 0,89	Высокий	0,11 – 0,25	«Светло-зелёная зона». Процесс в целом устойчив, но содержит отдельные факторы риска средней значимости. Отказы возможны, но они, скорее всего, будут локальными и не приведут к остановке всего процесса.	Предупреждающие действия. Рекомендуется проверить этапы с наибольшей рисконасыщенностью (PH_s) и запланировать мероприятия по снижению выявленных чисел риска отказов (ЧРО), особенно по параметрам возникновения (О) и обнаружения (D).
0,50 – 0,74	Средний	0,26 – 0,50	«Жёлтая зона». Процесс характеризуется значительной неопределённостью. Требуется дополнительный анализ, так как суммарное влияние рисков может превысить резервы времени и бюджета. Существует вероятность серьёзных сбоев.	Обязательное планирование управления рисками. Необходимо разработать план реагирования для рисков с высоким ЧРО. Рассмотреть возможность введения дополнительных контрольных точек (D) или изменения технологии на проблемных этапах для снижения значимости (S) последствий.
0,25 – 0,49	Низкий	0,51 – 0,75	«Оранжевая зона». Процесс находится в зоне повышенного внимания. Рисконасыщенность высока, что указывает на наличие множества причин отказов или отказов с катастрофическими последствиями. Процесс требует вмешательства до начала реализации.	Корректирующие действия. Требуется пересмотр регламентов процесса или проектных решений. Необходимо снизить показатели S, O или D по ключевым отказам. Без изменений запускать процесс не рекомендуется.
< 0,25	Критический	0,76 – 1,00*	«Красная зона». Процесс крайне ненадёжен. Высока вероятность того, что цели процесса не будут достигнуты. Интегральный риск превышает допустимый порог.	Остановка/реинжиниринг. Необходима кардинальная переработка процесса. Текущая конфигурация несёт в себе неприемлемые потери. Требуется повторное проведение FMEA-анализа после изменения архитектуры процесса.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Пилотные протоколы FMEA операций этапа 3 «Поиск подрядчика и заключение договора»

Протоколы выполнены на пилотной стадии анализа с детализацией до нескольких причин на отказ и послужили основой для адаптации шкал S, O, D (п. 3.1.2). В рабочем протоколе организационного процесса (таблица 3.4, Приложение 7) для каждого отказа учтена ведущая причина.

Таблица П5.1 – Протокол FMEA для операции 3.1 «Анализ собственной базы подрядчиков»

Отказ	Последствия	S	Причина отказа	O	Меры предупреждения	D	Меры обнаружения	ПЧР	Рекомендуемые корректирующие действия	Предпринятые корректирующие действия	S	O	D	ПЧР
Устаревшие или неполные данные в базе подрядчиков	Принятие решений на основе некорректной информации; контакты с неподходящими или несуществующими подрядчиками; потеря времени; риск срыва сроков	7	Отсутствие регулярной процедуры актуализации информации о подрядчиках	7	1. Назначение ответственных лиц за ведение базы. 2. Установление регламента актуализации (ежеквартально)	6	Регулярный аудит базы данных (ежеквартальная выборочная проверка)	294	1. Разработать и утвердить регламент актуализации базы данных. 2. Назначить ответственных с закреплением в KPI. 3. Внедрить автоматические напоминания о необходимости проверки.	1. Регламент утверждён приказом № 45 от 01.02.2025. 2. Ответственные назначены (менеджер по работе с подрядчиками). 3. Настроены автоматические напоминания в CRM.	7	5	4	140
			Не назначены ответственные за ведение и обновление базы данных	8	1. Внесение обязанностей в должностные инструкции. 2. Назначение ответственного приказом	6	Проверка отделов на соблюдение требований по ведению документации	336	1. Внести обязанности по ведению базы в должностные инструкции сотрудников отдела закупок. 2. Назначить ответственного за координацию. 3. Ввести ежемесячный отчёт о проведённых актуализациях.	1. Должностные инструкции актуализированы. 2. Назначен координатор (руководитель отдела закупок). 3. Внедрена форма ежемесячного отчёта.	7	6	5	210
			Разрозненность источников информации (отделы ведут свои списки без интеграции)	6	1. Внедрение единого стандарта для ведения документооборота. 2. Интеграция баз данных отделов	5	Проверка актуальности контактов, реквизитов, статуса подрядчиков	210	1. Провести инвентаризацию всех БД подрядчиков. 2. Разработать единый формат и внедрить CRM. 3. Организовать перенос данных.	1. Инвентаризация проведена, выявлено 3 источника. 2. Единая CRM внедрена (январь 2025). 3. Данные перенесены.	7	4	4	112
			Устаревшее ПО для управления базой данных, отсутствие автоматической синхронизации с официальными реестрами	5	1. Интеграция базы с официальными реестрами (ЕГРЮЛ, ФНС, СПАРК). 2. Регулярное обновление ПО	4	Автоматические уведомления об изменениях, подписки на платформы и официальные реестры	140	1. Провести тендер на выбор CRM с функцией интеграции с ЕГРЮЛ/ФНС. 2. Внедрить API-интеграцию с Контур.Фокус/СПАРК. 3. Настроить автоматическое обновление реквизитов.	1. CRM с интеграцией внедрена (февраль 2025). 2. Настроена автоматическая проверка при открытии карточки подрядчика. 3. Настроены	7	3	3	63

										уведомления об изменениях.				
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------------------------	--	--	--	--

Таблица П5.2 – Протокол FMEA для операции 3.2 «Комплексная оценка кандидатов-поставщиков»

Отказ	Последствия	S	Причина отказа	O	Меры предупреждения	D	Меры обнаружения	ПЧР	Рекомендуемые корректирующие действия
Субъективная оценка кандидатов	Выбор неоптимального подрядчика; принятие решений на основе личных предпочтений, а не объективных критериев	7	Отсутствие формализованной матрицы оценки с весами и критериями	8	Разработка и утверждение матрицы оценки подрядчиков	6	Контроль со стороны руководителя, сверка с матрицей	336	1. Разработать матрицу оценки по 7 категориям и 21 показателю. 2. Утвердить весовые коэффициенты. 3. Внедрить обязательное заполнение матрицы в CRM.
Неполный анализ документов кандидата	Пропуск критических недостатков (отсутствие лицензий, судебные споры, банкротство)	9	Отсутствие чек-листа проверки документов; недостаточная квалификация сотрудников	7	Разработка детального чек-листа проверки; обучение сотрудников	5	Проверка юристом и отделом безопасности	315	1. Разработать чек-лист проверки (допуски СРО, лицензии, ЕГРЮЛ, судебные споры, банкротство). 2. Провести обучение. 3. Интегрировать проверку с ЕГРЮЛ/ФНС.
Разные отделы используют разные критерии оценки	Несогласованность заключений отделов; сложность принятия итогового решения	6	Отсутствие единой методики оценки; разрозненные шаблоны	7	Разработка единой методики оценки подрядчиков	5	Сравнение заключений отделов на этапе сводного заключения	210	1. Разработать единую методику оценки (по 7 категориям). 2. Утвердить единые шаблоны заключений. 3. Провести согласительное совещание.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Примечания к чек-листу оценки рисков технологических процессов

Примечания к чек-листу (таблица 3.8):

- ПЧР выше 150 считается высоким риском и требует обязательного планирования корректирующих действий. Порог 150 является настраиваемым и может быть снижен для отказов с высоким S .

Для других типовых классов (кровельные работы, электромонтаж, сантехника, отделка) разрабатываются аналогичные чек-листы по единому шаблону.

1. Декомпозиция техпроцесса – составить перечень всех технологических операций (работ) по проекту (например: «армирование фундаментной плиты», «бетонирование плиты», «устройство гидроизоляции» и т.д.).
2. Классификация – каждой операции присвоить типовой класс (например, «бетонные работы», «арматурные работы» и т.п.).
3. Заполнение чек-листов – для каждой операции из соответствующего чек-листа выбрать только те отказы, которые реально возможны в условиях данного проекта (исключить заведомо неактуальные). По каждому выбранному отказу при необходимости скорректировать ранги S, O, D (обоснованно, с записью причины корректировки).
4. Расчёт ПЧР для каждого отказа как произведение скорректированных рангов.
5. Расчёт $RH_{\text{опер}}$ по операции – сумма ПЧР по всем отказам для данной операции.
6. Расчёт $RH_{\text{техн}}$ по всему техпроцессу – сумма $RH_{\text{опер}}$ по всем операциям.
7. Нормирование полученного $RH_{\text{техн}}$ по правилам, описанным в п. 2.3.6 (с использованием RH_{min} и RH_{lim}).

ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Расширенный протокол FMEA организационного процесса реализации строительного проекта

Приложение содержит расширенный протокол FMEA (последствия отказов, причины, действующие меры предупреждения, ранги S, O, D, ПЧР) по всем семи этапам процессной модели; сокращённая форма протокола приведена в таблице 3.4.

В таблице П7.1 представлен сводный FMEA-анализ для этапа 1 «Планирование выполнения работы».

Таблица П7.1 – FMEA-анализ этапа 1 «Планирование выполнения работы»

№ п/п	Отказ	Последствия	S	Причина	O	Меры предупреждения	D	ПЧР
1.1	Ошибка в смете (занижение)	Дефицит бюджета, остановка проекта	9	Неверные нормативы	6	Двойной расчёт (экономист + ПТО)	4	216
1.2	Неполное ТЗ	Неверный выбор подрядчика, дополнительные работы	8	Слабая коммуникация с заказчиком	7	Чек-лист требований, утверждение заказчиком	4	224
1.3	Не учтены риски	Непредвиденные сбои	8	Поверхностный анализ	6	Реестр рисков (не менее 20 позиций)	5	240
1.4	Ошибка в сроках планирования	Срыв всего графика	9	Оптимизм без резерва	6	+15% резерв времени	4	216

Анализ этапа 1 показывает, что наибольшую угрозу представляют «не учтены риски» (ПЧР = 240) и «неполное ТЗ» (ПЧР = 224). Оба отказа имеют высокий приоритет для разработки корректирующих действий. Ошибки в смете и сроках также значимы (ПЧР = 216), но их риск несколько ниже благодаря наличию мер предупреждения (двойной расчёт, резерв времени).

В таблице П7.2 представлен FMEA-анализ для этапа 2 «Выполнение работ собственными силами».

Таблица П7.2 – FMEA-анализ этапа 2 «Выполнение работ собственными силами»

№ п/п	Отказ	Последствия	S	Причина	O	Меры предупреждения	D	ПЧР
2.1	Нарушение технологии	Брак, переделка	9	Отсутствие входного контроля	5	Инструктаж перед работами	4	180
2.2	Травматизм	Остановка работ, штрафы, уголовная ответственность	10	Непроведение ТБ	4	Журнал инструктажей + видеофиксация	4	160
2.3	Простой из-за отсутствия материалов	Срыв графика	8	Нет запаса на складе	6	Минимальный страховой запас	4	192
2.4	Низкая производительность труда	Перерасход ФОТ	7	Неквалифицированные рабочие	6	Аттестация персонала	4	168

Анализ этапа 2 показывает, что наиболее критичным является отказ «простой из-за отсутствия материалов» (ПЧР = 192). Отказ «нарушение технологии» (ПЧР = 180) также требует внимания. Несмотря на высокую значимость последствий травматизма (S = 10), относительно низкие оценки O и D снижают итоговый ПЧР до 160, что объясняется наличием журналов инструктажей и видеофиксации.

В таблице П7.3 представлен расширенный FMEA-анализ для этапа 3 «Поиск подрядчика и заключение договора», дополняющий детальный анализ из подраздела 3.1.4.

Таблица П7.3 – FMEA-анализ этапа 3 «Поиск подрядчика и заключение договора»

№ п/п	Отказ	Последствия	S	Причина	O	Меры предупреждения	D	ПЧР
3.1	Устаревшие данные в базе подрядчиков	Выбор несуществующего подрядчика	7	Нет актуализации	6	CRM с автоподпиской на реестры	5	210
3.2	Нет исторических данных о качестве подрядчика	Риск выбрать ненадёжного подрядчика	8	Не собирали КРІ	7	Обязательная постпроектная оценка	6	336
3.3	Неверная интерпретация ТЗ	Выбор не того профиля	7	Нечёткое ТЗ	6	Стартовое совещание	5	210
3.4	Некорректные критерии оценки	Пропуск хороших кандидатов	8	Устаревшая методика	7	Ежегодный аудит критериев	5	280
3.5	Включение неподходящих кандидатов	Нагрузка на этапы оценки	7	Давление «своих»	6	Балльная система с авторасчётом	5	210
3.6	Исключение перспективных кандидатов	Сужение выбора	8	Жёсткие фильтры	5	Резервный список	6	240

№ п/п	Отказ	Последствия	S	Причина	O	Меры предупреждения	D	ПЧР
3.7	Нет документации отбора	Невозможно обосновать выбор	6	Нет шаблонов	7	Электронный документооборот	6	252
3.8	Задержка формирования списка	Срыв сроков	8	Перегруженность отдела	6	Мониторинг загрузки	5	240
3.9	Мошеннические предложения	Финансовые потери, суды	10	Нет проверки репутации	5	СПАРК, Контур.Фокус	6	300
3.10	Включение сомнительных подрядчиков	Риск на этапе работ	9	Давление сроков	6	КУС-процедура	5	270

Как уже было отмечено в подразделе 3.1.4, наиболее критическими отказами этапа 3 являются: «нет исторических данных» (ПЧР = 336), «мошеннические предложения» (ПЧР = 300), «некорректные критерии оценки» (ПЧР = 280), «включение сомнительных подрядчиков» (ПЧР = 270) и «отсутствие документации отбора» (ПЧР = 252). Эти отказы имеют приоритет для разработки корректирующих действий.

В таблице П7.4 представлен FMEA-анализ для этапа 4 «Выполнение работ по договору».

Таблица П7.4 – FMEA-анализ этапа 4 «Выполнение работ по договору»

№ п/п	Отказ	Последствия	S	Причина	O	Меры предупреждения	D	ПЧР
4.1	Срыв графика подрядчиком	Сдвиг всего проекта	9	Нет промежуточного контроля	5	Еженедельные отчёты + KPI	4	180
4.2	Низкое качество материалов подрядчика	Брак, переделка	8	Нет входного контроля	5	Акт приёмки материалов	4	160
4.3	Непроверенный субподрядчик	Потеря управляемости	8	Нет ограничений по субподряду	6	Запрет >30 % субподряда без согласования	5	240
4.4	Нарушение ТБ подрядчиком	Авария на объекте	10	Нет контроля со стороны заказчика	4	Ежемесячный аудит ТБ	5	200

Анализ этапа 4 показывает, что наиболее критическим является отказ «субподрядчик подрядчика – непроверенный» (ПЧР = 240). Отказ «нарушение ТБ подрядчиком» имеет высокую значимость (S = 10), но относительно низкие O и D снижают ПЧР до 200 благодаря ежемесячным аудитам ТБ.

В таблице П7.5 представлен FMEA-анализ для этапа 5 «Сдача-приёмка работ».

Таблица П7.5 – FMEA-анализ этапа 5 «Сдача-приёмка работ»

№ п/п	Отказ	Последствия	S	Причина	O	Меры предупреждения	D	ПЧР
5.1	Приёмка скрытых дефектов	Гарантийный ремонт	8	Формальная комиссия	5	Инструментальный контроль	3	120
5.2	Неполная документация	Невозможность ввода в эксплуатацию	7	Нет чек-листа документов	6	Чек-лист исполнительной документации	4	168
5.3	Длительное устранение замечаний	Отсрочка ввода в эксплуатацию	7	У подрядчика нет ресурсов	5	Штраф за каждый день просрочки	4	140

Анализ этапа 5 показывает, что наиболее критическим является отказ «неполная исполнительная документация» (ПЧР = 168). Отказ «приёмка скрытых дефектов» имеет наименьший ПЧР (120) благодаря инструментальному контролю.

В таблице П7.6 представлен FMEA-анализ для этапа 6 «Эксплуатация».

Таблица П7.6 – FMEA-анализ этапа 6 «Эксплуатация»

№ п/п	Отказ	Последствия	S	Причина	O	Меры предупреждения	D	ПЧР
6.1	Частые гарантийные случаи	Затраты на ремонт	8	Скрытый брак	5	Обкатка под нагрузкой	5	200
6.2	Отказ оборудования после ввода	Остановка объекта	9	Нет регламента ТО	4	Регламент ТО от подрядчика	4	144

Анализ этапа 6 показывает, что наиболее критическим является отказ «частые гарантийные случаи» (ПЧР = 200).

Отказ «отказ оборудования через месяц после ввода» имеет ПЧР = 144, что ниже порога высокого приоритета.

В таблице П7.7 представлен FMEA-анализ для этапа 7 «Завершение цикла и улучшения».

Таблица П7.7 – FMEA-анализ этапа 7 «Завершение цикла и улучшения»

№ п/п	Отказ	Последствия	S	Причина	O	Меры предупреждения	D	ПЧР
7.1	Не внесены уроки в базу знаний	Повторение ошибок	6	Нет ответственного	6	Назначить владельца БЗ	4	144
7.2	Корректирующие действия не выполнены	Те же риски в новых проектах	7	Нет контроля КД	5	План-отчёт с подписью	4	140

ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Пример расчёта интегрального показателя результативности для проекта «Техническое перевооружение электрощитовой»

Исходные данные проекта: плановая длительность 45 дн., фактическая 48 дн.; плановая стоимость 800 000 руб., фактическая 830 000 руб.; доля аутсорсинга 20 %; гарантийный период 12 мес.

Таблица П8.1 – Соблюдение сроков по задачам проекта

Этап	Задача	t план, дн.	t факт, дн.	Отклонение, %	max(0; Δ)
1	Проект перевооружения	6	7	16,7	0,167
1	Согласование и закупка материалов	7	7	0,0	0,000
2	Демонтаж старого оборудования	8	9	12,5	0,125
2	Подготовка помещения	4	4	0,0	0,000
3	Выбор подрядчика (электрощиты), договор	5	5	0,0	0,000
4	Монтаж новых щитов	13	13	0,0	0,000
4	Подключение и пусконаладка	8	9	12,5	0,125
5	Электрические испытания, приёмка	3	4	33,3	0,333
6	Гарантийное наблюдение	30	30	0,0	0,000
7	Анализ и закрытие проекта	3	3	0,0	0,000

Показатели этапов по формуле (2.9): $T_1 = 0,846$; $T_2 = 0,882$; $T_3 = 1,000$; $T_4 = 0,882$; $T_5 = 0,717$; $T_6 = 1,000$; $T_7 = 1,000$. По формуле (2.11): $T = (0,846 \cdot 0,882 \cdot 1,000 \cdot 0,882 \cdot 0,717 \cdot 1,000 \cdot 1,000)^{1/7} = 0,898$.

Таблица П8.2 – Частные показатели качества по этапам проекта

Код	Показатель	Ед. изм.	Значение	g(P)
1.1	Достоверность планирования стоимости работ	%	3,8	1,000
1.2	Достоверность планирования трудозатрат	%	8	0,700
1.3	Полнота учёта рисков	%	70	0,700
2.1	Выполнение плана работ	%	97	0,700
2.3	Стабильность кадрового состава исполнителей	%	6	0,800
2.4	Уровень соблюдения технологической дисциплины	на 100 н-ч	0,020	0,750
3.1	Результативность процедуры отбора подрядчика	%	22	1,000
3.3	Средний уровень надёжности отобранных подрядчиков	баллы	74	0,600
3.4	Доля договоров с выявленными несоответствиями	%	7	0,600
4.1	Индекс выполнения договорных обязательств подрядчиком	—	0,93	0,800
4.2	Коэффициент своевременности поставок материалов	%	95	0,500
4.3	Уровень безопасности труда у подрядчика	на 1000 чел-ч	0,30	0,700
5.1	Коэффициент дефектности	замеч./млн руб.	1,30	0,700

Код	Показатель	Ед. изм.	Значение	g(P)
5.2	Полнота комплекта исполнительной документации	%	96	0,600
5.3	Среднее время устранения одного замечания	дни	4	0,750
6.2	Интенсивность отказов подрядчиков	случ./мес.	0,60	0,800
6.3	Ресурсоёмкость устранения гарантийных отказов	% от стоимости работ	7	0,600
6.4	Удовлетворённость службы эксплуатации	баллы 1–5	4,10	0,600
7.1	Коэффициент полноты анализа недостатков	%	86	0,533
7.2	Результативность корректирующих действий	%	60	0,500
7.3	Полнота актуализации базы знаний	%	95	0,750

Сводные показатели этапов (среднее g по трём показателям этапа): $S_1 = 0,800$; $S_2 = 0,750$; $S_3 = 0,733$; $S_4 = 0,667$; $S_5 = 0,683$; $S_6 = 0,667$; $S_7 = 0,594$. По формуле (2.5): $Q = (1/7)\sum S_k = 0,699$ – удовлетворительно (таблица 2.8).

Таблица П8.3 – Результативность использования ресурсов проекта

Показатель	Значение	h(P)	ω	ω·h
Коэффициент использования плановых затрат (КИПЗ) $КИПЗ = C_{план}/C_{факт}$	0,964	0,639	0,20	0,1277
Ресурсный эффект от проекта (снижение эксплуатационных затрат), %	7,0	0,200	0,25	0,0500
Эффект привлечения внешних ресурсов ЭВР, %	2,0	0,600	0,10	0,0600
Доля ресурсов, направленных на обеспечение качества ДРОК, %	7,5	0,312	0,15	0,0469
Результативность вложений в улучшения (РВУ)	0,720	0,100	0,10	0,0100
Срок возмещения использованных ресурсов СВР	1,194	0,611	0,20	0,1222
$E = \sum \omega h$				0,417

$E = 0,417$ – неудовлетворительно (таблица 2.11).

Таблица П8.4 – Рисконасыщенность технологического процесса проекта

Операция технологического процесса	Число отказов	РН операции
Демонтаж старого оборудования	4	470
Монтаж щитов	5	640
Прокладка и подключение кабелей	5	610
Пусконаладка	4	600
Электрические испытания	3	560
Ввод в эксплуатацию, обучение персонала	3	380
Гарантийное обслуживание	2	240
$РН_{техн}$	26	3500

$N(RN_{техн}) = (3500 - 350)/(5400 - 350) = 0,624$; $R_{техн} = 0,376$; $R = 0,3 \cdot 0,536 + 0,7 \cdot 0,376 = 0,424$ – уровень «низкий» (таблица 2.12).

Интегральный показатель по формуле (2.4): $I = 0,699^{0,3} \cdot 0,898^{0,2} \cdot 0,417^{0,2} \cdot 0,424^{0,3} = 0,898 \cdot 0,979 \cdot 0,839 \cdot 0,773 = 0,571$ – неудовлетворительная результативность (таблица 2.6).

Таблица П8.5 – Рисконасыщенность технологических процессов остальных проектов по операциям

Проект	Операции (число отказов; РН операции)	РН _{техн}
Асфальт (до)	Фрезерование старого покрытия (3; 380); очистка и подгрунтовка основания (3; 420); доставка асфальтобетонной смеси (3; 470); укладка смеси (4; 560); уплотнение (3; 510); устройство разметки и примыканий (2; 240); приёмка и лабораторный контроль (2; 182)	2762
Профнастил (до)	Разбивка трассы ограждения (2; 260); бурение и установка стоек (4; 560); бетонирование стоек (3; 470); монтаж прогонов, сварка (4; 600); монтаж профлиста (3; 520); антикоррозийная защита (2; 262); приёмка (2; 180)	2852
Теплотрасса (до)	Земляные работы (5; 720); демонтаж старых труб (3; 430); монтаж труб и опор (4; 600); сварка стыков (5; 780); контроль сварных соединений (3; 520); тепловая изоляция (3; 470); гидравлические испытания (3; 540); обратная засыпка, благоустройство (2; 340)	4400
Кровля-1 (до)	Демонтаж старого ковра (4; 560); ремонт стяжки и уклонов (4; 600); пароизоляция и утепление (3; 470); наплавление нижнего слоя (4; 640); наплавление верхнего слоя (4; 620); устройство примыканий и воронок (4; 660); испытание проливом, приёмка (3; 486)	4036
Ливнёвка (до)	Разбивка трассы (2; 240); земляные работы (5; 700); устройство основания (3; 430); монтаж труб (4; 560); монтаж колодцев и решёток (4; 580); обратная засыпка и уплотнение (3; 450); испытания и приёмка (3; 336)	3296
Асфальт-2 (после)	Фрезерование карт (3; 330); очистка и подгрунтовка (3; 370); доставка смеси (3; 410); укладка смеси (4; 500); уплотнение (3; 450); разметка и примыкания (2; 240); приёмка и лабораторный контроль (2; 150)	2450
Кровля-2 (после)	Демонтаж старого ковра (4; 500); ремонт стяжки и уклонов (4; 540); пароизоляция и утепление (3; 430); наплавление нижнего слоя (4; 560); наплавление верхнего слоя (4; 540); примыкания и воронки (4; 520); испытание проливом, приёмка (3; 410)	3500
Профлист-2 (после)	Разбивка трассы (2; 240); бурение и установка стоек (4; 490); бетонирование стоек (3; 420); монтаж прогонов, сварка (4; 520); монтаж профлиста (3; 460); антикоррозийная защита (2; 220); приёмка (2; 150)	2500
Кабель (после)	Демонтаж старого кабеля (3; 420); прокладка трассы (4; 570); прокладка и разделка кабеля (4; 550); подключение и пусконаладка (4; 540); электрические испытания (3; 430); ввод в эксплуатацию (2; 380); гарантийное обслуживание (2; 240)	3130

ПРИЛОЖЕНИЕ 9. Пример укороченного чек-листа оценки рисков для упрощённой методики (класс «Общестроительные работы»)

Укороченный чек-лист сформирован из полного чек-листа класса «Общестроительные работы» (таблица 3.8) отбором шести отказов с наибольшими ПЧР; ранги S, O, D – исходные. При оценке конкретного проекта руководитель проекта отмечает применимые отказы, при необходимости корректирует ранги O и D не более чем на ± 1 с указанием причины и суммирует ПЧР по операции.

Таблица П9.1 – Укороченный чек-лист класса «Общестроительные работы»

№	Отказ	Типичная причина	S	O	D	ПЧР	Применим к операции (да/нет)	Корректировка O/D и обоснование
1	Некачественная сварка металлоконструкций (непровар, трещины)	Низкая квалификация сварщиков, отсутствие контроля	9	4	5	180		
2	Несоблюдение техники безопасности (отсутствие ограждений, страховки)	Отсутствие инструктажа, экономия на СИЗ	9	3	6	162		
3	Нарушение технологии бетонирования (неправильная укладка, вибрация)	Отсутствие входного контроля смеси, низкая квалификация рабочих	8	4	5	160		
4	Повреждение готовой конструкции при последующих работах	Отсутствие защиты, несогласованность бригад	6	5	5	150		
5	Заливка бетона при отрицательной температуре без противоморозных добавок	Нарушение технологии, экономия материалов	8	3	6	144		
6	Отклонение геометрических размеров (осей, отверстий) более допуска	Отсутствие геодезического контроля	7	5	4	140		
	Итого по операции (сумма ПЧР применимых отказов)							

Границы нормирования для укороченного чек-листа (п. 4.2.2): $RH_{min} = 300$ – примерно два применимых отказа со средним ПЧР около 150 на весь техпроцесс (условно эталонный процесс); $RH_{lim} = 3000$ – примерно три применимых отказа на каждой из семи операций при среднем ПЧР 150 (процесс с систематическими рисками на всех операциях). Значения носят стартовый характер и подлежат пересмотру по накопленной статистике.

ПРИЛОЖЕНИЕ 10. Акты внедрения результатов диссертационного исследования

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«СМИТ»

□ Юридический адрес: 443051, Самарская область, г. Самара, ул. Республиканская, дом 106,
комната 34
ИНН 6312164809 КПП 631201001 ОГРН 1166313127694

АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования
Гусева Дмитрия Алексеевича
на тему: «Совершенствование инструментария управления качеством
процессов реализации строительных проектов»,
представленного на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.22 – Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация
производства

Настоящий акт подтверждает, что научно-практические результаты диссертационной работы Гусева Д.А. приняты к внедрению и используются в производственно-хозяйственной деятельности ООО «СМИТ» при реализации проектов строительной деятельности по техническому перевооружению, капитальному ремонту и реконструкции объектов производственной инфраструктуры.

1. Внедренные научно-практические результаты:

1.1. Обобщённая многоуровневая структурно-функциональная модель процесса реализации проектов строительной деятельности, детально регламентирующая жизненный цикл работ и встроенные контуры контроля качества.

1.2. Комплекс показателей и математическая модель интегральной оценки результативности процессов строительной деятельности на базе мультипликативной свёртки показателей качества работ, сроков, результативности использования ресурсов и рискоустойчивости.

1.3. Адаптированная методика анализа рисков организационного процесса и технологических строительных процессов на основе FMEA с расчётом показателя рисконасыщенности.

1.4. Иерархическая система многокритериальной оценки, рейтингования и выбора подрядчиков и поставщиков при аутсорсинге.

1.5. Методика повышения результативности процессов реализации строительных проектов на основе трёх взаимосвязанных контуров PDCA в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001-2015.

2. Практическая ценность внедрения:

Использование указанных разработок позволило организации перейти к превентивному контролю рисков, исключить субъективизм при привлечении сторонних субподрядчиков, сократить рисконасыщенность технологических операций и повысить интегральный показатель результативности выполняемых строительных проектов в среднем на 15%.

3. Оценка эффективности:

Расчётный годовой экономический эффект от внедрения разработанного инструментария (за счёт снижения перерасхода сметной стоимости, сокращения затрат на устранение дефектов и устранения задержек производства работ) составил 2 050 000 (два миллиона пятьдесят тысяч) рублей.

Директор ООО «СМИТ»



С.Н. Медведев

Российская Федерация
ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬ
Гужин Владимир Алексеевич

ИНН 631905865216 в Поволжском банке ПАО СБ РФ г. Самара к/сч 30101810200000000607
БИК 043601607 р/сч 40802810954400025076 ОГРН 305631904700051, УСНО от 20.02.2005г. № 321.
Почтовый адрес: 443041 г.Самара, ул.Рабочая, д.85 кв.12.

АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования
Гусева Дмитрия Алексеевича
на тему: «**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ**
ПРОЦЕССОВ РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ»

Настоящим актом подтверждается, что следующие результаты научных исследований Гусева Дмитрия Алексеевича успешно внедрены в деятельность ИП Гужин Владимир Алексеевич, выполняющего строительные-монтажные и ремонтно-восстановительные работы на объектах производственной инфраструктуры предприятий Самарской области:

- Упрощённая методика повышения результативности процессов реализации строительных проектов, адаптированная к условиям малого строительного бизнеса с минимальным документооборотом.
- Упрощённая процедура экспресс-оценки технологических рисков на основе типовых отраслевых чек-листов (общестроительные, отделочные и монтажные работы).
- Методика экспресс-оценки и ранжирования поставщиков материалов и субподрядчиков при выполнении работ в условиях аутсорсинга.

Использование разработанных методик позволило существенно сократить трудоёмкость предварительного анализа рисков, обеспечить объективный входной контроль материалов и снизить число замечаний заказчиков при сдаче объектов по форме КС-2.

Расчётный годовой экономический эффект от использования упрощённой методики (достигнутый за счёт соблюдения плановых затрат, снижения брака и оперативного устранения технологических несоответствий) составил 450 000 (четыреста пятьдесят тысяч) рублей в ценах 2025 года.

Индивидуальный предприниматель:

«01» марта 2026 г.



В.А. Гужин