

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

На правах рукописи

Наркевич Михаил Юрьевич



**Развитие методологии создания системы менеджмента качества
металлургического предприятия, эксплуатирующего опасные
производственные объекты, на основе прикладной цифровой платформы**

2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация.

Организация производства

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук, профессор
Логунова Оксана Сергеевна

Магнитогорск – 2023

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ ОПАСНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ	16
1.1 Проблема обеспечения качества на металлургических предприятиях, эксплуатирующих опасные производственные объекты.....	16
1.2 Подходы к разработке и внедрению системы менеджмента качества на металлургических предприятиях, эксплуатирующих опасные производственные объекты.....	20
1.3 Современные подходы к мониторингу и оценке опасных производственных объектов промышленных предприятий.....	35
1.4 Современные подходы к контролю, оценке и управлению качеством на опасных производственных объектах.....	44
1.4.1 Информационная модель процесса экспертизы текущего состояния качества элементов опасных производственных объектов	44
1.4.2 Предпосылки развития информационной модели процесса экспертизы элементов опасных производственных объектов с учетом динамики	50
1.5 Характеристика негативных эффектов, возникающих при эксплуатации опасных производственных объектов промышленных предприятий	56
1.6 Опыт применения цифровых методов мониторинга, контроля и оценки элементов опасных производственных объектов	71
1.7 Цель и задачи диссертационного исследования	76
1.8 Выводы по главе 1.....	77
2 МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ ОПАСНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ	80

2.1 Модель методологии разработки и внедрения системы менеджмента качества на металлургических предприятиях, эксплуатирующих опасные производственные объекты.....	80
2.2 Процессная модель системы управления качеством на металлургических предприятиях, эксплуатирующих опасные производственные объекты.....	84
2.3 Разработка целевых показателей и документированные элементы процесса управления опасными производственными объектами	101
2.4 Модель комплексного управления опасными производственными объектами.....	105
2.5 Механизм трансформации подсистемы экспертной оценки качества элементов опасных производственных объектов для новых условий функционирования.....	108
2.6 Выводы по главе 2.....	114
3 РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОЦЕНКИ, МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ.....	117
3.1 Разработка методики проведения экспериментальных исследований для оценки качества функционирования элементов опасных производственных объектов	117
3.2 Обоснование и выбор элементов опасных производственных объектов для определения ключевых показателей качества функционирования с использованием инструментов пилотажного обследования	121
3.3 Методика проведения и результаты специализированных экспериментов-преобразования по исследованию разрушения бетонных образцов	124
3.4 Определение ключевых показателей качества функционирования элементов опасных производственных объектов на примере ПАО «ММК»	136
3.5 Разработка метода интегративной оценки качества функционирования элементов опасных производственных объектов	142
3.6 Математический аппарат для идентификации параметров функций принадлежности компонент лингвистической переменной.....	150

3.7 Формализация правил принятия решений по результатам реализации метода интегративной оценки качества функционирования элементов опасных производственных объектов.....	158
3.8 Разработка алгоритма реализации метода интегративной оценки качества функционирования элементов опасных производственных объектов.....	163
3.9 Выводы по главе 3.....	165
4 ЦИФРОВИЗАЦИЯ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ.....	167
4.1 Структура прикладной цифровой платформы для экспертизы элементов опасных производственных объектов.....	167
4.2 Математическая модель траектории движения аппаратных средств мониторинга (беспилотных летательных аппаратов) при обследовании элементов опасных производственных объектов	169
4.3 Комплекс программных модулей для оценки состояния и динамики качества элементов опасных производственных объектов с использованием прикладной цифровой платформы	178
4.4 Алгоритмы анализа текущего и будущего состояния качества элементов опасных производственных объектов.....	182
4.5 Выводы по главе 4.....	190
5 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТАРИЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ ОПАСНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ	192
5.1 Реализация комплексного инструментария для мониторинга, оценки и управления качеством функционирования элементов опасных производственных объектов металлургического предприятия	192
5.1.1 Оценка и управление качеством функционирования ковша сталеразливочного, эксплуатируемого на территории кислородно-конвертерного цеха ПАО «ММК»	192

5.1.2 Оценка и управление качеством функционирования здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8 на опасном производственном объекте ПАО «ММК».....	199
5.1.3 Оценка и управление качеством функционирования сооружения кирпичной дымовой трубы №132, эксплуатируемой на территории паровоздуховной электростанции ПАО «ММК»	208
5.2 Результаты построения цифровой тени пилотных элементов опасных производственных объектов	218
5.3 Оценка экономической эффективности применения комплексного инструментария для мониторинга, оценки и управления качеством функционирования элементов опасных производственных объектов на металлургическом предприятии	222
5.4 Перспективные направления развития диссертационного исследования.....	227
5.5 Выводы по главе 5.....	230
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	232
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	236
ПРИЛОЖЕНИЕ А	288
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	293
ПРИЛОЖЕНИЕ В	300
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	301
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	304
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	306
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	307
ПРИЛОЖЕНИЕ И	323

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Metallургическая отрасль является одной из ключевых в промышленности РФ. Более 70% металлургических предприятий (МП) являются градообразующими, их продукция является востребованной конечным потребителем и для последующей переработки на предприятиях машиностроения, металлообработки и др. Обеспечение устойчивого и эффективного развития МП в современных условиях требует решения комплекса задач, направленных на устранение кризисных ситуаций и рисков, реализации мер по своевременной модернизации или замене оборудования и объектов производственной инфраструктуры, а также цифровизации производственной деятельности. Все это невозможно без применения передовых инструментов менеджмента качества. Сложившаяся сегодня парадигма управления в соответствии с базовым стандартом ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования» предопределяет необходимость одновременного и равноценного развития всех направлений системы менеджмента.

Существующая практика показывает, что часть процессов традиционных систем менеджмента качества (СМК) промышленных предприятий преобладают над другими не менее важными процессами и вызывают существенные противоречия и диссонанс в корпоративной системе.

Указанная проблема возникает из-за отсутствия эффективных инструментов определения причинно-следственных связей для оценки влияния отдельных видов деятельности на качество процессов и продукции, а также границ этого влияния. Следствием этого является отсутствие понимания значимости равноценного и равновесного развития всех направлений СМК.

Производственным процессам в рамках традиционных СМК уделяется наибольшее внимание. Вопросы развития цифровизации решаются в первую очередь в рамках действующего производства.

В действующих СМК ряд процессов имеют существенный прогресс развития, при этом другие остаются слабо развитыми. Исходя из требований современ-

ных стандартов менеджмента, это недопустимо и создает существенные риски в обеспечении качества процессов и продукции.

Выделенное противоречие носит отраслевой характер и требует скорейшего и эффективного решения. Требуется решить отраслевую научно-техническую проблему, связанную с обеспечением опережающего развития СМК МП, эксплуатирующего опасные производственные объекты (ОПО), на основе применения передового инструментария управления, информатизации и цифровизации.

Степень разработанности темы исследования. Основополагающий вклад в разработку научных основ оценки и управления качеством внесли отечественные ученые: Азгальдов Г.Г., Гличев А.В., Райхман Э.П., Альперин Л.Н., Бойцов Б.В., Бойцов В.В., Адлер Ю.П., Лapidус В.А. и другие известные ученые. Дальнейшее развитие теории и практики оценки и управления качеством, а также организации производства в различных отраслях промышленности нашло отражение в работах Антипова Д.В., Анцева В.Ю., Байбурина А.Х., Горленко О.А., Ивахненко А.Г., Еремина К.И., Ключкова Ю.С., Козловского В.Н., Короткого А.А., Котельникова В.С., Фреймана В.И., Плахотниковой Е.В., Одинокова С.А., Тушавина В.А., Смирновой М.С., Мичурина С.В., Фроловой Е.А., Киселевича В.П., Извекова Ю.А., Айдарова Д.В., Пантюхина О.В., Ивановой В.А., Жетесовой Г.С. и др. Основы по управлению качеством продукции и производственных процессов на предприятиях металлургической отрасли РФ рассмотрены в работах Гуна Г.С., Чукина М.В., Тулупова О.Н., Песина А.М., Мезина И.Ю., Голубчика Э.М., Гуна И.Г., Михайловского И.А., Корчунова А.Г., Салганика В.М., Моллера А.Б., Рубина Г.Ш., Федосеева С.А., Гитмана М.Б., Логуновой О.С. и др. Проблемы развития теории экспертных оценок и алгоритмов их использования представлены в работах Райхмана Э.П., Азгальдова Г.Г., Бешелева С.Д., Гурвича Ф.Г., Тюрина Ю.Н., Литвака Б.Г., Орлова А.И., Дорофеюка А.А., Алескерова Ф.Т., Новикова Д.А., Сидельникова Ю.В., Кемени Дж., Снелла Дж., Саати Т. и других отечественных и зарубежных ученых.

Однако до настоящего времени системными связями процессного управления не охвачен комплекс значимых для производства вопросов, имеющих крити-

чески важное значение для обеспечения его устойчивого и эффективного функционирования, связанного с организацией процессов управления на МП, эксплуатирующем ОПО. Вопросы оценки влияния результативности функционирования и целостности связей на процессном уровне остаются слабоизученными. Вопросы цифровизации для рассматриваемого комплекса в рамках СМК не разрабатываются.

Объектом исследования является система менеджмента качества металлургического предприятия, эксплуатирующего опасные производственные объекты.

Предмет исследования – методология и инструментарий создания и функционирования системы менеджмента качества металлургического предприятия, эксплуатирующего опасные производственные объекты.

Целью диссертационного исследования является совершенствование системы менеджмента качества металлургического предприятия, эксплуатирующего опасные производственные объекты, для обеспечения результативности функционирования процессов управления.

Для достижения цели поставлены **задачи**:

1. Выполнить системный анализ проблемы управления качеством на МП, подходов к созданию и функционированию СМК, учитывающих отраслевые особенности ОПО на основе современных трендов цифровизации.
2. Разработать и реализовать методологию и инструментарий создания и функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО.
3. Разработать комплексный инструментарий для мониторинга, оценки и повышения качества функционирования элементов ОПО МП на основе трехуровневого метода интегративной оценки качества.
4. Спроектировать и реализовать цифровой инструментарий для мониторинга, оценки и повышения качества функционирования элементов ОПО МП на основе прикладной цифровой платформы.
5. Выполнить опробование разработанной методологии и инструментария по созданию и функционированию СМК МП, эксплуатирующего ОПО.

Научная новизна работы заключается в создании методологии и комплексного научно-технического инструментария разработки и функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО, направленных на повышение результативности функционирования процессов управления качеством на МП, и включает следующее:

1. Разработана контекстная модель, развивающая методологию создания СМК МП, эксплуатирующего ОПО, реализация которой позволяет обеспечить результативность функционирования процессов управления качеством на МП, отличающаяся от ранее известных тем, что выявляет ключевые системные аспекты и факторы, учитывающие специфику ОПО.

2. Предложен комплекс моделей, включающий двухуровневую структурную **модель** методологии и инструментария создания и функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО, основанную на цикле PDCA, отличающуюся от ранее известных наличием уровней «создание СМК МП, эксплуатирующего ОПО» и «обеспечение результативности функционирования процессов СМК МП, эксплуатирующего ОПО» с возможностью обеспечения опережающего развития процессов СМК; **модель** СМК МП, эксплуатирующего ОПО, позволяющую рассматривать элементы ОПО как ключевые элементы инфраструктуры, оказывающие влияние на качество продукции, и отличающуюся от существующих моделей тем, что в ее состав включены процессы управления качеством элементов ОПО.

3. Разработана адаптивная процессная модель СМК МП, эксплуатирующего ОПО, отличающаяся от ранее известных тем, что в неё встроены процессы управления промышленной безопасностью и процессы обеспечения безопасной инфраструктурой и производственной средой, реализация которой позволяет управлять процессами СМК с возможностью адаптации к изменению требований законодательства и заказчика.

4. Разработана методика проведения экспериментальных исследований для оценки качества функционирования элементов ОПО, включающая эксперимент-обследование, специализированный эксперимент-преобразование и модульный вычислительный эксперимент, отличающаяся последовательным наращиванием

сведений о техническом состоянии элементов ОПО и формированием визуально оцениваемых базовых и цифровых показателей качества. Методика проведения экспериментальных исследований для оценки качества функционирования элементов ОПО позволила получить информационное поле для генерации новых знаний на основе консолидированных данных, которое ранее не рассматривалось в традиционных нормативных документах.

5. Предложен метод интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО, содержащий математический аппарат для идентификации параметров функций, и отличающийся от известных введением лингвистической переменной, встраиванием в систему оценки групп базовых и цифровых показателей качества, а также реализацией принципа суперпозиции и квалиметрического подхода при получении конечного результата, обеспечивающего представление оценки качества с учетом приоритетности факторов функционирования элементов ОПО.

6. Разработан комплексный цифровой инструментарий управления качеством функционирования элементов ОПО, включающий структуру прикладной цифровой платформы, программные модули и информационную модель оценки состояния и динамики качества функционирования элементов ОПО, алгоритмы анализа качества функционирования элементов ОПО, отличающийся от существующих тем, что позволяет создавать цифровую тень элементов ОПО и выполнять накопление ретроспективной информации об изменении технического состояния объекта.

7. Разработана математическая модель, позволяющая определить рациональную траекторию движения беспилотных летательных аппаратов для повышения достоверности информации, получаемой при обследовании элементов ОПО. Модель отличается возможностью позиционирования беспилотных летательных аппаратов с использованием специальной масштабной сетки, построенной с учетом характеристик исследуемого объекта и особенностей технических средств сбора информации.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

1. Создан комплекс прикладного инструментария, направленного на повышение качества процесса управления на МП, эксплуатирующем ОПО, и обеспечивающего развитие методов и подходов мониторинга, оценки и управления качеством функционирования элементов ОПО с учетом достижений научно-технического прогресса в области цифровизации процессов.

2. Разработан механизм трансформации существующей подсистемы экспертной оценки качества элементов ОПО в системы производственного контроля на МП, позволяющий использовать новые инструменты прикладной цифровой платформы, сохранять и накапливать опыт выполненных экспертных оценок и снизить влияние человеческого фактора.

3. Установлены функции принадлежности объекта заданному техническому состоянию по результатам экспертизы элементов ОПО на основе показателей, полученных традиционными методами (базовые показатели) и новыми цифровыми методами (цифровые показатели).

4. Разработаны алгоритмы программных модулей для новых инструментов прикладной цифровой платформы, позволяющие реализовать функции предварительной обработки изображений, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов, формирования карты разрушения поверхности элементов ОПО, сравнения состояний элементов ОПО в динамике на основе набора цифровых теней.

5. Спроектированы и разработаны программные средства поддержки принятия решений при оценке технического состояния элементов ОПО.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных в работе задач использовались принципы всеобщего управления качеством (TQM), цикл качества PDCA Э. Деминга, методы теории систем и системного анализа, статистические методы управления качеством, квалиметрический подход, теория вероятностей, методы математического моделирования.

Теоретические и экспериментальные исследования основываются на использовании методов системного анализа при построении схем декомпозиции

экспертизы с учетом информационных потоков, методов планирования эксперимента при проведении трехуровневого экспериментального исследования, методов квалиметрии при оценке показателей качества элементов ОПО, теории принятия решений при построении трехуровневого метода интегративной оценки качества элементов ОПО, методов математического моделирования при построении функций принадлежности объекта к заданному техническому состоянию, методов обработки изображений при разработке алгоритмов и программных модулей при создании прикладной цифровой платформы.

Положения, выносимые на защиту:

1. Расширенная контекстная модель СМК МП, эксплуатирующего ОПО, построенная по результатам анализа ключевых системных аспектов, внешних и внутренних факторов, обеспечивающих опережающее развитие системы менеджмента промышленных предприятий, как важнейшего компонента – обеспечение промышленной безопасности.

2. Методология разработки, внедрения и функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО, включающая комплекс моделей, методик и метода интегративной оценки качества элементов ОПО.

3. Трехуровневый инструментарий управления качеством функционирования элементов ОПО, построенный на прикладной цифровой платформе с использованием современных программных и технических средств, включая БПЛА, для сбора визуальной информации.

4. Результаты опробования методологии и комплексного инструментария для мониторинга, оценки и повышения качества функционирования элементов ОПО МП.

Соответствие паспорту специальности. Проблематика, рассмотренная в диссертации, соответствует паспорту научной специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства, а именно: п. 1 «Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики процессов управления качеством и организации производства»; п. 4 «Инновации при разработке, развитии, цифровизации систем

менеджмента качества (СМК) предприятий и организаций»; п. 11 «Создание и развитие систем менеджмента, в том числе интегрированных (ИСМ) на основе ИСО 9001, ИСО 14001, ИСО 45001 и смежных отраслевых международных и отечественных стандартов»; п. 24 «Разработка и совершенствование методов и моделей организации производства для решения задач пожарной, промышленной и экологической безопасности».

Личный вклад автора. Все результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. Под научным руководством автора (или при его преобладающем участии) разработаны структурная модель методологии и инструментария создания и функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО. Направления исследований диссертационной работы, формулировки проблем и постановки задач обсуждались с научным консультантом – д.т.н., профессором О.С. Логуновой, что отражено в совместных публикациях, в которых основные результаты принадлежат диссертанту. Личный вклад автора заключается в формулировании цели и задач диссертационного исследования, личном участии в проведении теоретических и экспериментальных исследований, обосновании методологии разработки системы управления качеством функционирования ОПО, разработке модели СМК МП, эксплуатирующего ОПО, трехуровневого комплекса инструментов управления качеством функционирования элементов ОПО, адаптации процессного подхода к экспертизе элементов ОПО, разработке метода и групп количественных критериев для определения интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО, разработке механизма трансформации инструментов экспертизы качества функционирования элементов ОПО.

Степень достоверности и апробация результатов. Обоснованность полученных результатов подтверждается корректным применением математического и статистического аппарата, математическим моделированием, логичностью формулировок, отсутствием противоречий с результатами, полученными другими исследователями. Достоверность подтверждается использованием современных методов принятия решений, представлений об оценке качества технических систем,

а также широким обсуждением результатов диссертации на национальных и международных конференциях, семинарах.

Апробация результатов работы. Основные полученные результаты материалов диссертации представлены и апробированы на конференциях: Международная научно-практическая конференция «Архитектура. Строительство. Образование» (Магнитогорск, 2012 г.), Международная научно-техническая конференции «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (Магнитогорск, 2014 г., 2017-2020 гг., 2022 г.), VII Международный симпозиум «Актуальные проблемы вычислительного моделирования в строительстве» (Новосибирск, 2018 г.), Международная научно-техническая конференция «Строительство, архитектура и техносферная безопасность» (Челябинск, 2019 г.), VI Международная конференция «Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур» (Екатеринбург, 2020 г.), Всероссийская научно-практическая конференция «Программное обеспечение для цифровизации предприятий и организаций» (Магнитогорск, 2021 г.), Международная конференция «2nd International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2021 (ICECAE 2021)» (Ташкент, 2021 г.), Национальная научная школа-конференция «Современные достижения университетских научных школ» (Магнитогорск, 2021 г.), X Всероссийская конференция «Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии» (Оренбург, 2021 г.), Международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы продовольственной безопасности» (Воронеж, 2022 г.).

Внедрение результатов диссертационного исследования. Результаты диссертационного исследования внедрены на АО «Магнитогорский ГИПРОМЕЗ», АО НПО «БелМаг», НИИ «Промбезопасность» ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», ООО «МЕТАЛЛУРГМАШ Инжиниринг», ООО «ТехноГарант»; использованы при выполнении научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы «Разработка и применение методик контроля территорий, зданий и сооружений ПАО «ММК» с использованием беспилотных воздушных судов (БВС)» по договору № 247715 от 05.07.2021 г. между ПАО «ММК» и ФГБОУ ВО «МГТУ

им. Г.И. Носова», государственного задания Минобрнауки РФ по проекту 7.3379.2017/ПЧ «Разработка и исследование усовершенствованной конструкции сжатых композитных элементов с железобетонным ядром и стальной или фиброполимерной оболочкой» (2017-2019 гг.), используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» при выполнении научно-исследовательских и выпускных квалификационных работ обучающимися по направлениям: 08.03.01, 08.04.01, 08.05.01 – Строительство (уровень бакалавриата, магистратуры и специалитета); 09.03.01, 09.04.01 и 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника (уровень бакалавриата, магистратуры и подготовки кадров высшей квалификации).

При внедрении результатов научной работы в практику предприятий металлургии и машиностроения получен экономический эффект в размере до 16,0 млн руб. включительно в ценах 2022 г.

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 53 публикациях, из них 12 статей в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, девять статей проиндексированы в наукометрических базах Scopus и Web of Science, в других изданиях – 14 работ. Получено 15 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, один патент на полезную модель. Опубликовано две монографии.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованной литературы из 388 наименований, 8 приложений на 45 страницах, изложена на 332 страницах машинописного текста, включает 110 рисунков, 61 таблицу.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ ОПАСНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ

1.1 Проблема обеспечения качества на металлургических предприятиях, эксплуатирующих опасные производственные объекты

При рассмотрении современных СМК промышленных предприятий, как российских, так и зарубежных, можно сделать ряд выводов, отражающих текущее состояние вопроса, связанного с применением современного инструментария управления в практике организаций.

Во-первых, в соответствии с актуальной версией стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования» предприятия стараются оптимально отразить в процессной модели СМК вопросы, касающиеся основной производственной деятельности. Основные процессы промышленных предприятий структурированы и отражают все аспекты производства. Важным аспектом выполнения актуального в настоящее время стандарта является обеспечение процессного управления в рамках СМК всех видов деятельности. В настоящее время определена тенденция, направленная на интеграцию в процессную модель СМК вопросов: проектирования, производства, сбыта, сервисного обслуживания продукции. Это обеспечивает синхронизацию процессов деятельности предприятия и устранение межпроцессных противоречий. Устойчивым трендом развития СМК является стабильный рост ресурсного обеспечения, связанного с развитием информатизации и цифровизации основного производственного процесса. Повышение роли информатизации и цифровизации обеспечивается внутренними системами организации и решением внешних партнеров, в качестве которых рассматриваются инжиниринговые предприятия.

Во-вторых, в последнее десятилетие организации обратили пристальное внимание на определение и реализацию процессов управления, в том числе финансово-экономического, что является важным критерием в условиях конкурент-

ной среды и ориентации деятельности предприятий на тренды международных рынков. Разработка и реализация соответствующих процессов обеспечивает предприятиям целый ряд дополнительных возможностей, связанных с обеспечением эффективного управления. Однако необходимо выделить проблемы, которые неоднократно фиксировались ранее. На отечественных промышленных предприятиях включение финансово-экономического блока в процессное рассмотрение СМК произошло относительно недавно. Ранее считалось, что данный блок отражает вопросы, не связанные непосредственно с качеством деятельности организации. Основные функции такой работы достаточно строго регулируются, а также имеется неоспоримый компонент, определяемый как коммерческая тайна. Указанные причины долгое время считались объективным препятствием в развитии СМК с точки зрения рассматриваемых видов деятельности. Однако развитие основного стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования», обсуждение данного вопроса в рамках проведения целой серии международных аудитов на крупнейших промышленных предприятиях, а также дискуссии на уровне корпоративных центров управления в организациях позволили ускорить создание соответствующих инструментов управления СМК. В результате произошла структуризация финансово-экономического блока управления в процессных моделях СМК и усовершенствовалась система корпоративных индикаторов качества. Все это обеспечило прогресс и рост эффективности управления на предприятиях.

В-третьих, до настоящего времени вопросы обеспечения охраны труда и промышленной безопасности на ОПО предприятий в рамках СМК рассматривались в качестве дополнительного комплекса вопросов при оценке производственной деятельности основного персонала организации, другими словами, не относились к задачам, определяющим основную деятельность. Также данный блок не всегда обладал приоритетом при рассмотрении процессов, связанных с управлением персоналом и (или) промышленной безопасностью. Сложно однозначно оценить, насколько такое обеспечение управления одним из важнейших компонентов СМК в современной практике оправдано. Для этого необходимо более де-

тально рассматривать данный аспект в историческом развитии соответствующих процессов. В отличие от финансово-экономического блока управления, рассмотренного выше, необходимо отметить, что блок управления охраной труда и промышленной безопасностью всегда фигурировал в отдельных процессах СМК промышленных предприятий. Однако и ранее, и сейчас данному блоку процессов уделяется недостаточное внимание, недооценивается его важность. Именно поэтому в современных процессных моделях организации блок финансово-экономического управления в достаточной степени актуализирован, а блок обеспечения охраны труда и промышленной безопасности до сих пор воспринимается у большинства предприятий как вторичный в системе процессов СМК организации.

В это же время статистика аварий на промышленных объектах диктует требования, связанные с созданием систем высокого уровня управления охраной труда и промышленной безопасностью в рамках СМК предприятий. Для этого необходимо обеспечить опережающее развитие и интеграцию процессов управления промышленной безопасностью в рамках СМК промышленного предприятия на том же уровне, что и управление основным производственным процессом. Соответствующие вопросы безопасности должны входить в перечень основных вопросов, связанных с управлением бизнесом и, таким образом, обеспечивать повышение эффективности СМК через ключевые индикаторы, отражающие в том числе промышленную безопасность и охрану труда.

В то же время необходимо рассматривать инструменты информатизации и цифровизации как комплекс обеспечения эффективности управления соответствующими разрабатываемыми процессами. Для этого требуется развитие новых инструментов управления качеством.

В отличие от процессов управления охраной труда и промышленной безопасностью, в теории и практике развития инструментов цифровизации в проектировании и производстве наблюдаются достижения последних лет, связанные с разработкой цифровых двойников, значительным развитием инструментов информатизации и в их рамках статистических инструментов управления качеством

продукции на этапах жизненного цикла. Процессы охраны труда обеспечивают в СМК ключевые функции организации, направленные на безопасность труда сотрудников. Современные предприятия имеют в своем арсенале опасные и технически сложное оборудование, здания и сооружения, компьютерную технику и т.д. Предприятия постоянно перевооружаются и модернизируются под выпуск более совершенной продукции, в то же время арсенал средств обеспечения промышленной безопасности и как системы, и как инструментария в основном не меняется.

Таким образом, выделяется важная отраслевая проблема, связанная с обеспечением опережающего развития СМК функционирования ОПО, на основе применения передовых инструментов управления, информатизации и цифровизации. Только комплексное развитие процессов СМК, связанных с управлением охраной труда и промышленной безопасностью, а также соответствующее развитие инструментальной базы управления способно обеспечить опережающее развитие системы менеджмента промышленных предприятий, как важнейшего компонента – обеспечение промышленной безопасности.

Решение проблемы направлено на преодоление сложившегося отставания в развитии систем управления промышленной безопасностью на основе стандартов менеджмента качества, обеспечивающих применение процессного управления и комплексных инструментов цифровизации и информатизации процессов мониторинга и управления соответствующего вида деятельности. В связи с вышесказанным формируется определенное концептуальное видение и предлагается следующее решение обозначенной проблемы:

1. Критический анализ ситуации. Требуется провести мониторинг и анализ теории и практики выделенной отраслевой проблемы.

2. Методологическая разработка. На основе анализа необходимо разработать комплекс научно-прикладной методологии управления качеством ОПО промышленных предприятий.

3. Разработка инструментария. Разработать комплекс организационно-технических, экспертных, цифровых и информационных инструментов для обеспечения процесса мониторинга и управления качеством.

4. Цифровизация процесса. В рамках решения задач, направленных на развитие цифровых и информационных инструментов, необходимо разработать математические модели и программные комплексы, обеспечивающие процесс совершенствования инструментария управления качеством эксплуатации ОПО на современном уровне, отражающем текущее состояние научно-технического прогресса.

Таким образом, в результате решения существующей отраслевой проблемы, связанной с необходимостью совершенствования СМК эксплуатации промышленных объектов, в том числе входящих в категорию опасных, формируется комплекс системных инструментов управления, действующих в рамках СМК промышленного предприятия и обладающих процессной организацией и принципом управления, а также целого комплекса научно-прикладного инструментария обеспечения процессов мониторинга и управления, построенных на принципах цифровизации и информатизации, обеспечивающих прогресс в развитии системы менеджмента промышленных предприятий и повышение безопасности эксплуатации промышленных объектов.

Основные термины, использованные в диссертационной работе, и их определения приведены в тезаурусе (Приложение А).

1.2 Подходы к разработке и внедрению системы менеджмента качества на металлургических предприятиях, эксплуатирующих опасные производственные объекты

Управление качеством продукции и услуг в современном понимании реализуется на основе триединства объектов управления качеством: продукция, бизнес-процессы, СМК.

Объекты управления качеством:

1. Продукция (услуга). Управление качеством продукции (услуг) является главной задачей для теории и инструментария управления качеством. Управлять качеством продукции невозможно без улучшения бизнес-процессов организации. В условиях рыночных отношений успешность предприятий и организаций во

многим определяется ценой и качеством производимой ими продукции и услуг на российском и зарубежном рынках.

Произошло изменение законодательства Российской Федерации в части установления обязательных и добровольных требований к продукции (в том числе к техническим устройствам, зданиям и сооружениям), процессам проектирования, производства, строительства, монтажа, эксплуатации, оценке соответствия и др. Принятый Федеральный закон № 184-ФЗ от 27.12.2002 «О техническом регулировании» [299] определяет отношения, возникающие при разработке, принятии, применении и исполнении обязательных и добровольных требований к продукции и к связанным с ними процессам проектирования, в том числе и к конструкциям, материалам и изделиям. Под термином «продукция» понимается результат деятельности, представленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего использования в хозяйственных и иных целях. Продукция является первейшим объектом технического регулирования (ОТР).

На качество продукции и услуг оказывают влияние внешние и внутренние факторы (рисунок 1.1).

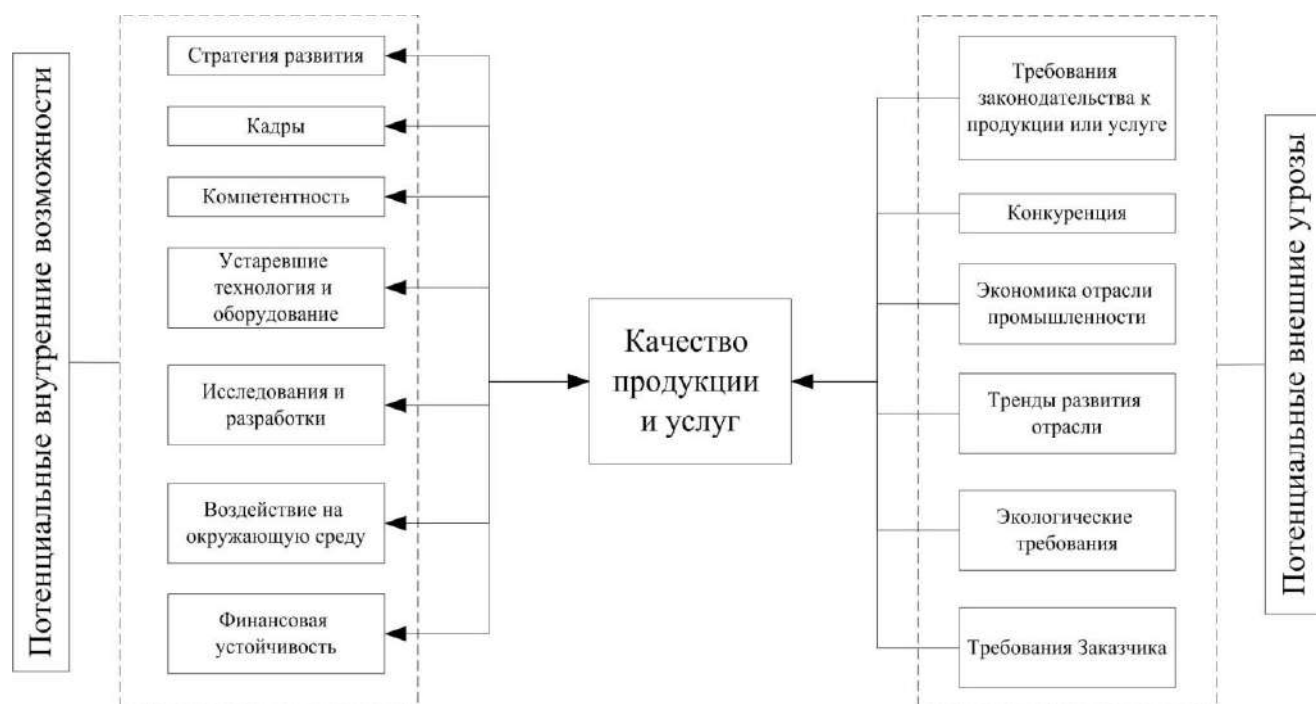


Рисунок 1.1 – Схема влияния качества продукции и услуг на потенциальные внутренние возможности предприятия и внешние угрозы

Управление вышеперечисленными внешними и внутренними факторами обеспечивается через управление бизнес-процессами СМК предприятия.

2. Бизнес-процессы. Управление качеством бизнес-процессов – определяющая задача планирования и обеспечения качества продукции, а также предупреждения появления несоответствий и отказов при проектировании и разработке, подготовке производства и производстве продукции. Управление качеством бизнес-процессов позволяет управлять всеми ключевыми аспектами, влияющими на качество продукции и услуг. Управлять бизнес-процессами невозможно без совершенствования СМК.

Согласно [161, 299] существует два вида ОТР:

1) материальные объекты – различные виды продукции, в том числе технические устройства, здания и сооружения;

2) технологические процессы, соотносящиеся с этапами жизненного цикла изделия; связанные с требованиями к продукции процессы проектирования, производства, строительства, эксплуатации, утилизации и оценки соответствия.

Федеральным законом № 184-ФЗ [299] вводится понятие технического регулирования. Техническое регулирование – правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции или к связанным с ними процессам проектирования. Основа технического регулирования – технические регламенты (ТР) – документы, устанавливающие обязательные для применения и исполнения требования к ОТР, в том числе конструкциям, зданиям, строениям и сооружениям, материалам и изделиям.

Требования к ОТР разделены на обязательные, установленные ТР, и добровольные, содержащиеся в стандартах.

3. Система менеджмента качества. Управление СМК позволяет системно, основываясь на принципах менеджмента качества, обеспечивать и улучшать качество продукции.

Результативную и эффективную деятельность по управлению качеством обеспечивает наличие функционирующей СМК, которая основывается на общепринятых принципах менеджмента качества, требованиях международных, на-

циональных и отраслевых стандартах, а также лучших мировых практиках (best of practice) применения теории и инструментария управления качеством.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001:2015 [110, 111], СМК – это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов организации для разработки Политики, целей и процессов для достижения этих целей.

Конкретизируя данное определение, отметим, что СМК – это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов организации, таких как организационно-управленческие правила и процедуры, технологический и информационный инструментарии, материальные, финансовые, человеческие ресурсы для разработки политики, целей и процессов для достижения этих целей.

Методология применения СМК предусматривает использование основных подходов к управлению качеством [211]:

- системный: предусматривает управление предприятием как единой системой, состоящей из отдельных взаимосвязанных элементов и подсистем;

- процессный: рассматривает управление предприятием как непрерывное исполнение комплекса взаимосвязанных видов деятельности и управленческих функций;

- целевой: ориентирован на выполнение производственных задач промышленного предприятия в области качества;

- ситуационный: предусматривает применение различных способов управления в зависимости от конкретной ситуации и условий внешней и внутренней среды предприятия;

- интегративно-конвергенциальный: предусматривает интеграцию системного, целевого, процессного и других подходов к управлению качеством.

Современный подход к управлению качеством продукции предполагает разработку, внедрение и совершенствование СМК в соответствии с требованиями международных, национальных, отраслевых стандартов, а также лучших отраслевых практиках.

СМК разрабатываются на основе моделей, заложенных в международные, национальные и отраслевые стандарты.

Самой распространённой моделью является СМК, разработанная на базе международного стандарта ISO 9001 и аналогичного ему национального стандарта ГОСТ Р ИСО 9001.

Модель СМК на базе стандартов ISO 9001 и ГОСТ Р ИСО 9001 представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, приведенных в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Элементы модели СМК в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001

Элемент модели СМК	Описание
Организация и ее среда (контекст) (раздел 4)	Определяются все факторы, влияющие на выполнение требований всех заинтересованных сторон (в том числе требования потребителей к качеству продукции и услуг), реализацию Политики и целей организации
Лидерство (раздел 5)	Определяются роли, ответственность и полномочия сотрудников организации для выполнения требований всех заинтересованных сторон, реализацию Политики и целей организации
Планирование (раздел 6)	Определяются требования к созданию документированных правил по разработке Политики и целей целевых показателей в области качества, развёртыванию целей, целевых показателей на соответствующие уровни и процессы, а также мониторингу
Средства обеспечения (раздел 7)	Определяются требования к определению и управлению ресурсами организации для выполнения требований всех заинтересованных сторон, реализацию Политики и целей организации
Деятельность на стадии жизненного цикла (раздел 8)	Определяются требования к созданию продукции и услуг, отвечающих требованиям потребителей
Оценка результатов деятельности (раздел 9)	Определяются требования к мониторингу, измерению, анализу и оценке процессов СМК, направленных на выполнение требований всех заинтересованных сторон, реализацию Политики и целей организации
Улучшение (раздел 10)	Определяются требования к управлению несоответствиями в СМК, а также разработке и реализации корректирующих действий, направленных на устранение причин появления несоответствий

Необходимо отметить, что применяются и другие, менее распространенные модели СМК, например, модель на базе критериев самооценки премии Правительства РФ в области качества и аналогичные ей другие международные и национальные премии.

Существуют следующие особенности функционирования СМК:

– СМК – документированная система, предполагающая регламентацию ключевых аспектов управления качеством в рамках СМК, а также регистрацию результатов деятельности. Регламентация необходима для доведения до сотруд-

ников организации ролей, ответственности и полномочий, для выполнения процедур и функций по планированию, обеспечению, предупреждению и улучшению качества продукции, процессов и СМК;

– на базе существующих в организации моделей системы менеджмента либо моделей СМК создают интегрированные системы менеджмента, которые обеспечивают управление важными аспектами деятельности, влияющими на выполнение требований заинтересованных сторон, такими как экологические аспекты, охрана здоровья и безопасность труда, эффективное управление активами и т.д. Данные интегрированные системы менеджмента создаются с учетом требований стандартов к интегрированным системам менеджмента, таким как ISO 14001, ISO 45001, ISO 55001 и др. В частности, МП в Российской Федерации, как правило, внедряют и сертифицируют свои интегрированные системы менеджмента на соответствие требованиям международных стандартов ISO 9000, ISO 14000, ISO 45001;

– модель СМК на базе стандартов устанавливает обобщенные требования применительно к организациям любых размеров и отраслей, и не учитывает специфику, связанную с размерами организации, уровнем подготовки и компетентности персонала, отраслевых особенностей и т.д. В связи с этим возникает вопрос по учету специфики организаций, эксплуатирующих ОПО;

– СМК в организации должна обеспечивать результативность и эффективность деятельности, направленной на достижение политики и целей организации, а также выполнения всех требований всех заинтересованных сторон.

В рамках диссертационного исследования выполнен анализ научных работ, посвященных функционированию системы управления качеством на предприятии. В национальной наукометрической базе данных научного цитирования на 26.10.2022 г. насчитывается 25610 публикаций по данной тематике. Из них 13418 связаны с деятельностью предприятий, эксплуатирующих ОПО.

Одним из часто встречающихся предложений по совершенствованию систем управления качеством продукции или услуг является разработка стратегии устойчивого развития предприятия [51, 65, 366].

Важным аспектом такой стратегии является разработка методов оценки качества продукции или услуг. Необходима система сбалансированных качественных и количественных показателей [65, 355].

В изученных исследовательских работах [154, 312, 358] анализируются проблемы развития системы управления качеством на предприятии. Выделены основные группы проблем: неполное *понимание* понятия «качество», недостаток *специалистов* в области качества, несовершенство нормативной и правовой *базы* в области оценки и управления качеством, отсутствие *системного* подхода к управлению качеством.

Ряд научных работ [132, 194, 309, 312, 383] посвящен вопросу управления затратами на обеспечение качества. Предложено разделение затрат на обеспечение качества на две категории: на управленческие и на обеспечивающие процессы. Однако реализация предложенной методики управления затратами затруднительна, необходима разработка перечня количественных показателей процессов системы управления качеством на предприятии.

В работах [29, 159] описана концепция эффективного управления ресурсами, в рамках которой рассмотрен вопрос совершенствования технологии оказания услуг с необходимой точностью измерений параметров объекта и достоверностью получаемой информации. Отмечено, что управление ресурсами организации при оказании услуг должно быть комплексным, опираться на передовые научные исследования в соответствующих областях. Использовано понятие «мониторинг» как сочетание получения, анализа, учета и координации полученной информации. Процесс мониторинга связан с планированием, прогнозированием с использованием информационных баз данных как источника для стратегического планирования изменений в существующей системе управления качеством.

Рассматривается также вопрос управления СМК на промышленных предприятиях Российской Федерации с применением цифровых платформ [31, 215, 347]. По мнению авторов, использование данного инструмента позволяет повысить качество исполнения процессов путем увеличения производительности, точ-

ности и стабильности выполнения операций, а также снижения стоимости выполнения процессов. Сделан вывод о необходимости применения современных, достоверных и высокоэффективных средств и методов контроля качества продукции и услуг предприятий любой отрасли промышленности.

В работах [220, 226, 228, 295] функционирование системы контроля качества продукции связано с этапами ее жизненного цикла. При этом эффективность системы управления качеством достигается при минимизации ресурсов на выпуск продукции или оказание услуг, включая затраты на обеспечение качества. Таким образом, качество продукции и услуг является одним из важнейших факторов, варьируя которым можно балансировать между снижением затрат на производство продукции (оказание услуг) и ее конкурентоспособностью.

В работе [65] предложено разделить деятельность предприятия на основные составляющие: финансовую, потребительскую, внутренних бизнес-процессов и кадровую. Для оценки результативности использования организационных резервов предприятия предложена формула

$$R = a_1 R_{\phi} + a_2 R_n + a_3 R_{\text{вн.б.}} + a_4 R_k; \sum_{i=1}^4 a_i = 1, \quad (1.1)$$

где R_{ϕ} , R_n , $R_{\text{вн.б.}}$, R_k – показатели результативности составляющих: финансовой, потребительской, внутренних бизнес-процессов и кадровой; a_i – коэффициент весомости составляющих результативности.

Показатель результативности определяется суммой отношений значений индикаторов к целевым значениям показателей по формуле

$$R_{c_i} = \sum_{i=1}^n b_i \frac{\text{ИП}_i}{\text{ЦЗП}_i}; \sum_{i=1}^n b_i = 1, \quad (1.2)$$

где R_{c_i} – показатель результативности; ИП_i – индикатор показателя; ЦЗП_i – целевое значение показателя; b_i – коэффициент весомости показателя.

В научных работах [65, 68, 147, 154, 159, 215, 261, 312, 358] рассматриваются общие стратегии СМК, действующей на предприятии. Анализируются типовые решения по разработке стратегии развития и их влияние на успешность компании,

выражающейся, как правило, в улучшении показателей финансовой деятельности: увеличении объемов выпуска продукции, увеличении объемов продаж, снижении издержек производства и т.п. При этом не затрагиваются вопросы экспертизы технических устройств, зданий и сооружений, эксплуатируемых на ОПО.

В работах [163, 193, 214, 232, 241, 250, 338, 356] определяется проблема качества информации о фактическом состоянии объекта исследований: релевантность, своевременность, достоверность, доступность, полнота. Качество информации об объекте позволяет оперативно принимать верные решения по оценке его соответствия установленным требованиям. Отмечается проблема синтеза структуры системы управления качеством на предприятии. Отдельные элементы системы обеспечения качества слабо взаимосвязаны между собой и не встроены в единую систему управления качеством. Описаны частные решения по отдельным элементам системы качества. Решения, охватывающие ОПО, и использование передовых технологий рассмотрены недостаточно.

Использованию цифровых технологий для сбора и обработки информации посвящен ряд работ [42, 214, 232, 258, 259, 336, 345]. Однако комплексных решений по разработке информационных систем обеспечения качества на ОПО не предложено.

В работе [65] отмечено, что показатель качества работы промышленного предприятия в целом зависит от главных факторов: совершенство технологий, качество материалов, условия труда и квалификация персонала. При этом на главные факторы оказывают влияние показатели нижнего уровня: отклонение от установленных технологических операций и процедур, нарушение требований стандартов, регламентирующих определенный вид деятельности, несовершенство требований стандартов, наличие в документации недостоверной информации. По мнению автора, грамотно выстроенная стратегия управления качеством продукции или услуг на предприятии влияет на его конкурентоспособность. При выстраивании эффективной системы управления важным фактором является готовность к инновациям или изменениям, соответствующим или опережающим современный уровень развития науки, техники и технологий. Отмечено, что наибо-

лее подходящими средствами для формирования эффективной системы управления, соответствующей требованиям устойчивого развития, согласующуюся с теорией всеобщего управления качеством, и системы мониторинга на основе разработанного комплекса сбалансированных количественных показателей. Количественные показатели образуют древовидную структуру, в которой каждый показатель отнесен к ветке для принятия управленческого решения.

В работе [250] отмечено, что повысить эффективность работы компании можно за счет улучшения качества используемой информации. При этом в стандартах предприятия, устанавливающих правила работы компании, должны закладываться принципы применения современных информационных технологий в соответствии с ее деятельностью. Качество продукции находится в постоянной динамике и является неустойчивой категорией. Под управлением качеством на предприятии понимается деятельность по обеспечению проектирования, изготовления и реализации товаров и услуг, обладающих достаточно высокой степенью полезности и удовлетворяющих запросы потребителей.

В работе [358] авторы отмечают основные недостатки существующей СМК: отсутствие системного подхода к управлению качеством, а также использование устаревших инструментов контроля качества и полное отсутствие информационных технологий, без широкого внедрения которых невозможно обеспечение конкурентоспособности. Отмечено, что современные компании делают акцент не на выявлении ошибок в работе предприятия или брака, а на его предупреждении.

В работе [358] автор рассматривает метод оценки риска человеческого фактора в системе «персонал – подъемные машины – производственная среда». Анализируется негативное влияние человеческого фактора, приведшее к авариям на ОПО машиностроительных предприятий.

Также рассматриваются вопросы колонизации планет Солнечной системы с целью добычи полезных ископаемых и создания промышленных производств вне планеты Земля [146, 191, 192, 207, 217, 271, 386].

Важным выводом, сделанным на основании анализа особенностей функционирования СМК, является выявление и интеграция в действующую СМК спе-

цифических требований, учитывающих особенности организации. Особенности и специфические требования, как правило, отражаются в законодательных и нормативных правовых актах.

Схема классификации нормативных правовых актов, устанавливающих обязательные требования в области промышленной безопасности на территории Российской Федерации, по приоритетности представлена на рисунке 1.2.

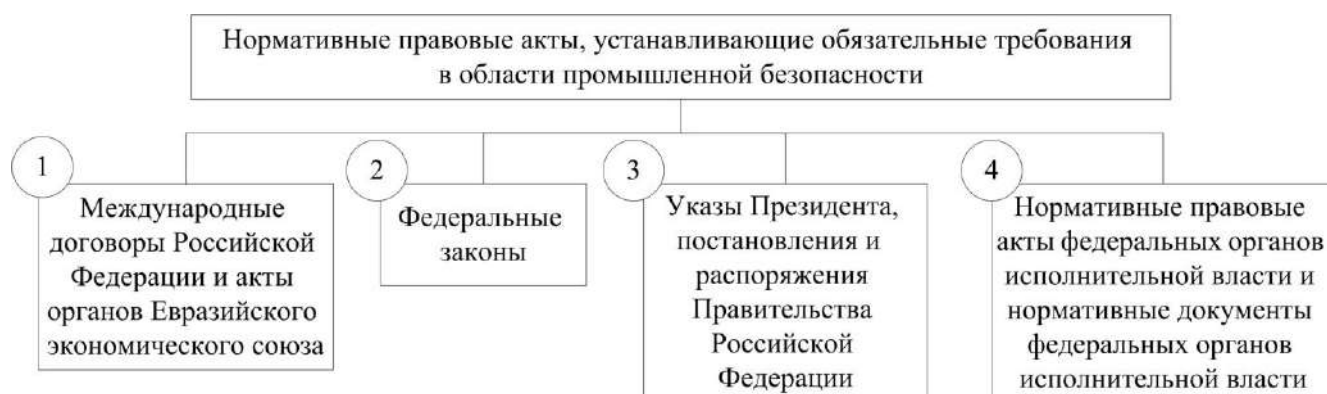


Рисунок 1.2 – Схема классификации нормативных правовых актов, устанавливающих обязательные требования в области промышленной безопасности, по приоритетности

В отношении ОПО действует Федеральный закон № 116-ФЗ [301], федеральные нормы и правила (ФНП) в области промышленной безопасности, в том числе ФНП «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» [368], а также ряд других нормативных правовых актов.

Федеральным законом № 116-ФЗ [301] установлены обязательные мероприятия по обеспечению требований промышленной безопасности, обеспечиваемые организацией, эксплуатирующей ОПО. Организация, эксплуатирующая ОПО, обязана подтвердить соответствие зданий, сооружений и технических устройств обязательным требованиям промышленной безопасности путем проведения независимой оценки (экспертизы промышленной безопасности) [368] и при осуществлении производственного контроля [272].

Основные требования к предприятию, эксплуатирующему ОПО [301], схематично представлены на рисунке 1.3.

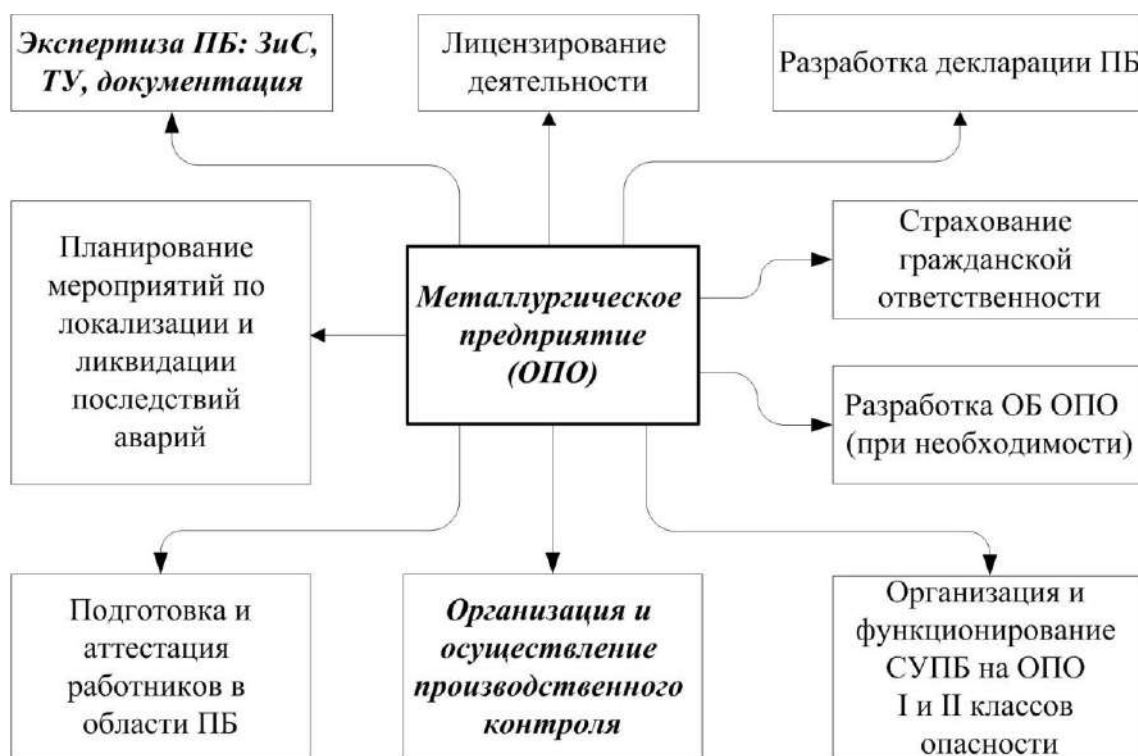


Рисунок 1.3 – Основные требования, предъявляемые к МП, эксплуатирующему ОПО

На рисунке 1.3 введены обозначения: ПБ – промышленная безопасность; ЗиС – здания и сооружения; ТУ – технические устройства; СУПБ – система управления промышленной безопасностью; ОБ – обоснование безопасности.

В качестве объекта исследования в диссертационной работе рассматриваются СМК МП, эксплуатирующих ОПО. Согласно Федеральному закону № 116-ФЗ от 21.07.1997 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [301] ОПО – это предприятия или их цехи, участки, площадки, а также иные производственные объекты повышенного риска, на которых возможно возникновение аварий, сопровождающихся разрушением зданий, сооружений и (или) технических устройств, неконтролируемых: взрыве, выбросе опасных веществ и инцидентов: отказу или повреждению технических устройств, отклонению от установленного режима технологического процесса.

Для обеспечения результативности и эффективности СМК необходимо выявлять и управлять ключевыми системными аспектами и факторами, учитывающими специфику ОПО и влияющими на качество элементов, входящих в состав ОПО.

Элементом СМК, позволяющим выявлять ключевые системные аспекты и факторы, является контекстная модель предприятия.

Контекстная модель СМК МП, эксплуатирующего ОПО, приведена на рисунке 1.4.

Номенклатура и обозначение элементов контекстной модели СМК МП, эксплуатирующего ОПО, приведенных на рисунке 1.4, представлены в Приложении Б.

Фрагмент контекстной модели СМК МП, эксплуатирующего ОПО, представлен на рисунке 1.5.

Факторы контекста для МП в части мониторинга, измерений, анализа и оценки СМК МП, эксплуатирующего ОПО, представлены на рисунке 1.6.

Анализ контекстной модели СМК для предприятия, эксплуатирующего ОПО, показал, что значимое количество внешних и внутренних факторов относится к элементам ОПО и промышленной безопасности. Это означает, что СМК МП, эксплуатирующего ОПО, должна содержать оригинальные особенности управления элементами, входящими в состав ОПО.

Целесообразно выделить два ключевых блока документированных элементов СМК:

– блок «Контекст организации, процессы СМК, включая обеспечивающие процессы по управлению элементами ОПО, показатели результативности функционирования процессов, документированные элементы СМК МП, эксплуатирующего ОПО» относится к общесистемному блоку планирования, организации, координации, контроля и улучшения СМК;

– блок «Мониторинг и оценка элементов ОПО», относится к методикам и инструментарию мониторинга, оценки и улучшению качества функционирования элементов ОПО.

Таким образом, методы, методики и инструментарий мониторинга и оценки элементов ОПО обеспечивают результативное функционирование СМК.

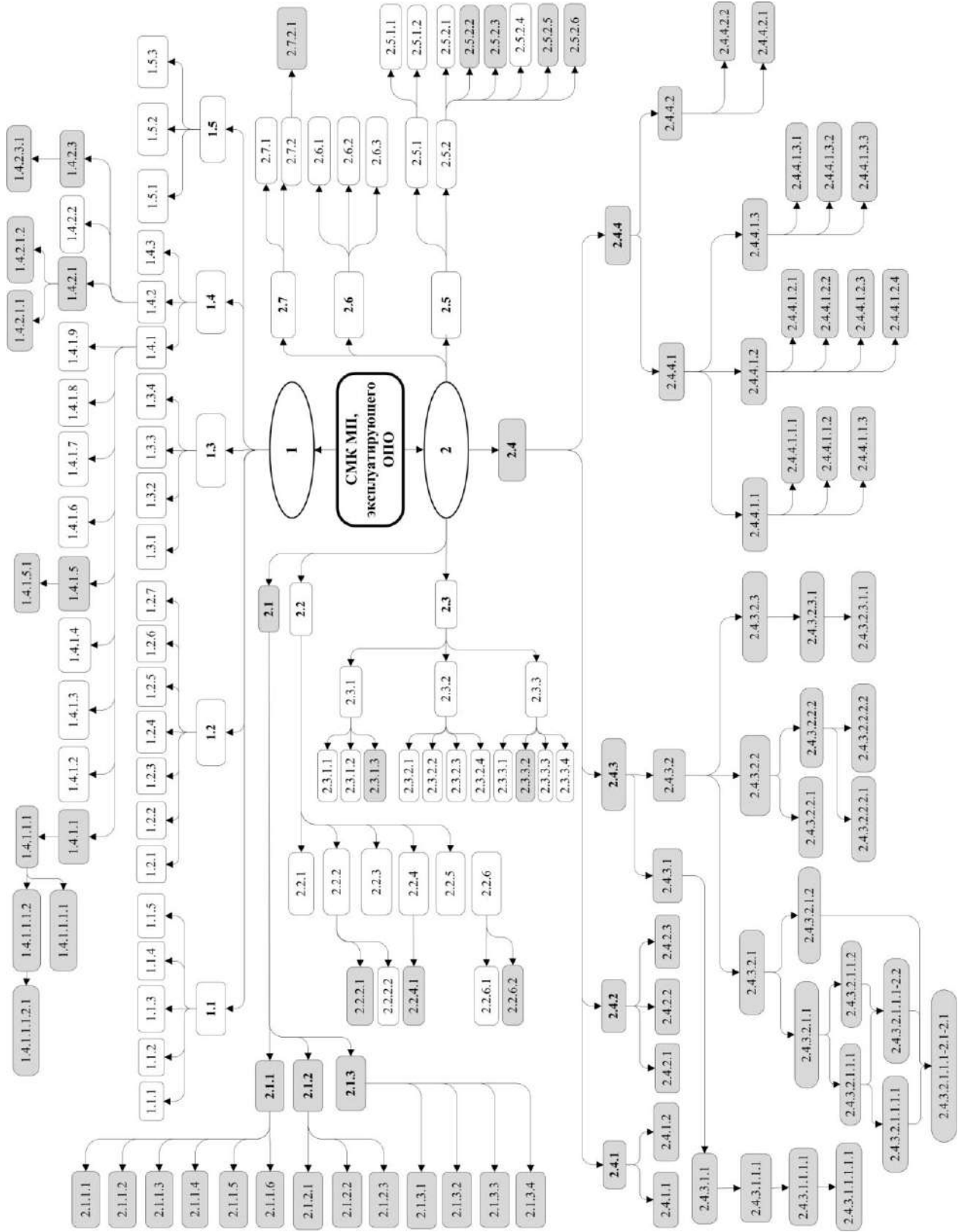


Рисунок 1.4 – Контекстная модель СМК МП, эксплуатирующего ОПО

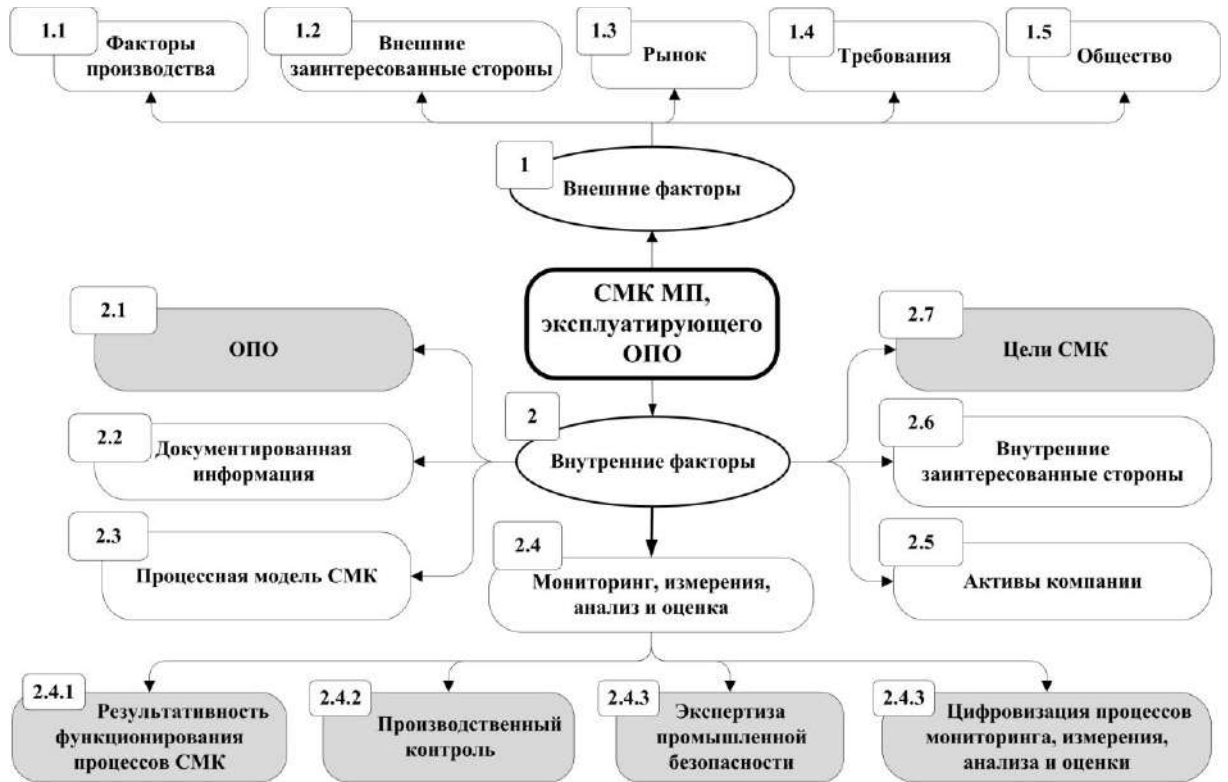


Рисунок 1.5 – Фрагмент контекстной модели CMK МП, эксплуатирующего ОПО

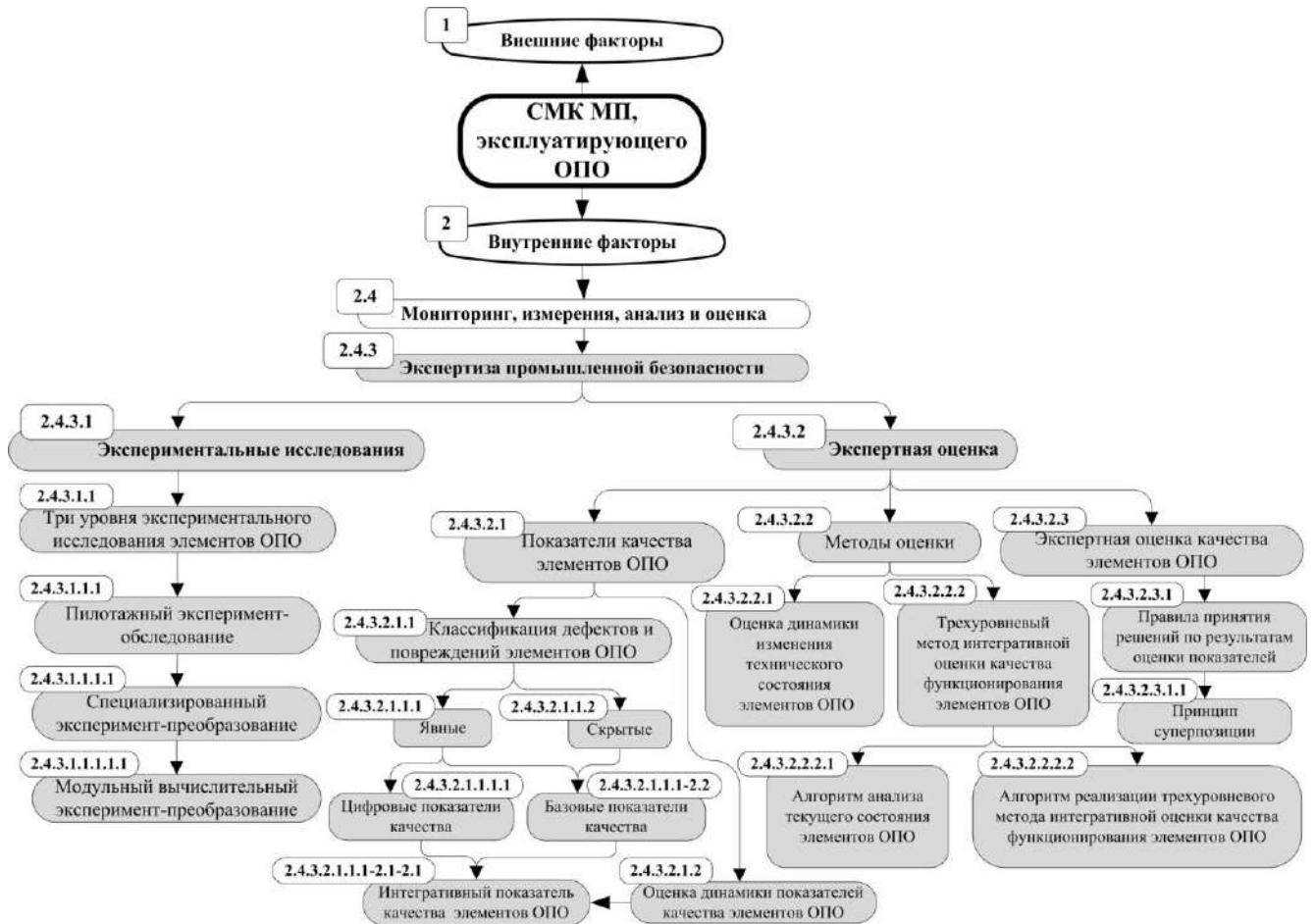


Рисунок 1.6 – Факторы контекста для МП в части мониторинга, измерений, анализа и оценки CMK МП, эксплуатирующего ОПО

1.3 Современные подходы к мониторингу и оценке опасных производственных объектов промышленных предприятий

Ранее в диссертации рассматривался вопрос об актуализации проблемы развития инструментов управления качеством для обеспечения безопасности труда и промышленных объектов, и в том числе относящихся к классификации опасных. Отмечено, что при разработке современных СМК промышленных предприятий недостаточно внимания уделяется вопросам построения систем управления качеством функционирования элементов ОПО.

В настоящем разделе детализируются первичные выводы, полученные с помощью критического анализа сложившихся на крупных российских промышленных предприятиях СМК, с точки зрения обозначенной отраслевой проблемы.

Рассмотрены крупнейшие российские предприятия машиностроения (автомобилестроения) АО «АВТОВАЗ» и ПАО «КАМАЗ» [80, 339]. По основным направлениям деятельности автомобильные предприятия выступают в качестве авангарда развития СМК. Одной из основных причин такого положения является высокая конкуренция на автомобильных рынках регионов, а также нацеленность автомобильной промышленности на постоянное развитие в вопросах обеспечения эффективности деятельности компаний. Поэтому автомобильная промышленность является лидером внедрения инноваций в области управления процессами. Нужно отметить, что оба предприятия являются производствами полного цикла, в составе которых имеются производства: сборочно-кузовное, механосборочное, металлургическое, прессовое и т.д.

Таким образом, в ландшафте процессов СМК АО «АВТОВАЗ» (рисунки 1.7-1.9) присутствуют процессы, зависящие от поддержания безопасности эксплуатации промышленных объектов. Это процессы управления персоналом с функцией обеспечения вопросов безопасности и охраны труда (рисунок 1.10), а также процессы поддержания функционирования инфраструктуры (рисунок 1.11).

Анализ процессной модели (рисунок 1.7) показывает, что вопросы обеспечения управления качеством безопасности труда и промышленных объектов не определяются в бизнес-процессах (рисунок 1.8). Можно предположить, что соответ-

ствующие блоки должны просматриваться в процессе управления М06 – Корректирующие и предупреждающие действия. Однако при рассмотрении процесса М06 установлено, что корректирующие и предупреждающие действия, рассматриваемые в процессе, – это компетентностные действия, определяющиеся управлением качеством продукции (рисунок 1.9).

Для проведения критического анализа рассмотрены графические модели процессов управления персоналом (рисунок 1.10) и процессов поддержания инфраструктуры (рисунок 1.11).

Анализ представленных моделей показал, что прямой связи СМК предприятия с процессами управления качеством эксплуатации рассматриваемых в диссертации производственных объектов не прослеживается.

В руководстве по качеству АО «АВТОВАЗ» по рассматриваемой проблеме указано: «Производственная среда. Управление производственной средой осуществляется в соответствии с требованиями нормативных, правовых и технических документов (ГОСТ, ТК РФ, СанПиН и т.д., технологическая документация) службами главных инженеров подразделений в целях обеспечения условий (соответствующих санитарно-гигиеническим, пожарным нормам и т.д., специфике технологии производства и требований к продукции) для качественного выполнения работ. Необходимые условия включают: характеристики зданий и сооружений; атмосферные параметры (температура, влажность, химический состав, скорость движения среды и т.п.); уровень шума, освещенность и т.п.; соответствующие показатели культуры производства. Ответственность за мониторинг соответствия производственной среды несут директора производств».

Иными словами, инструментов процессного управления вопросами качества ОПО в рамках действующего СМК не создано.

На рисунке 1.12 приведен ландшафт процессов СМК ПАО «КАМАЗ» согласно Руководству по качеству ПАО «КАМАЗ» [157, 158] в части организации процессной модели СМК с точки зрения актуализированной проблемы.

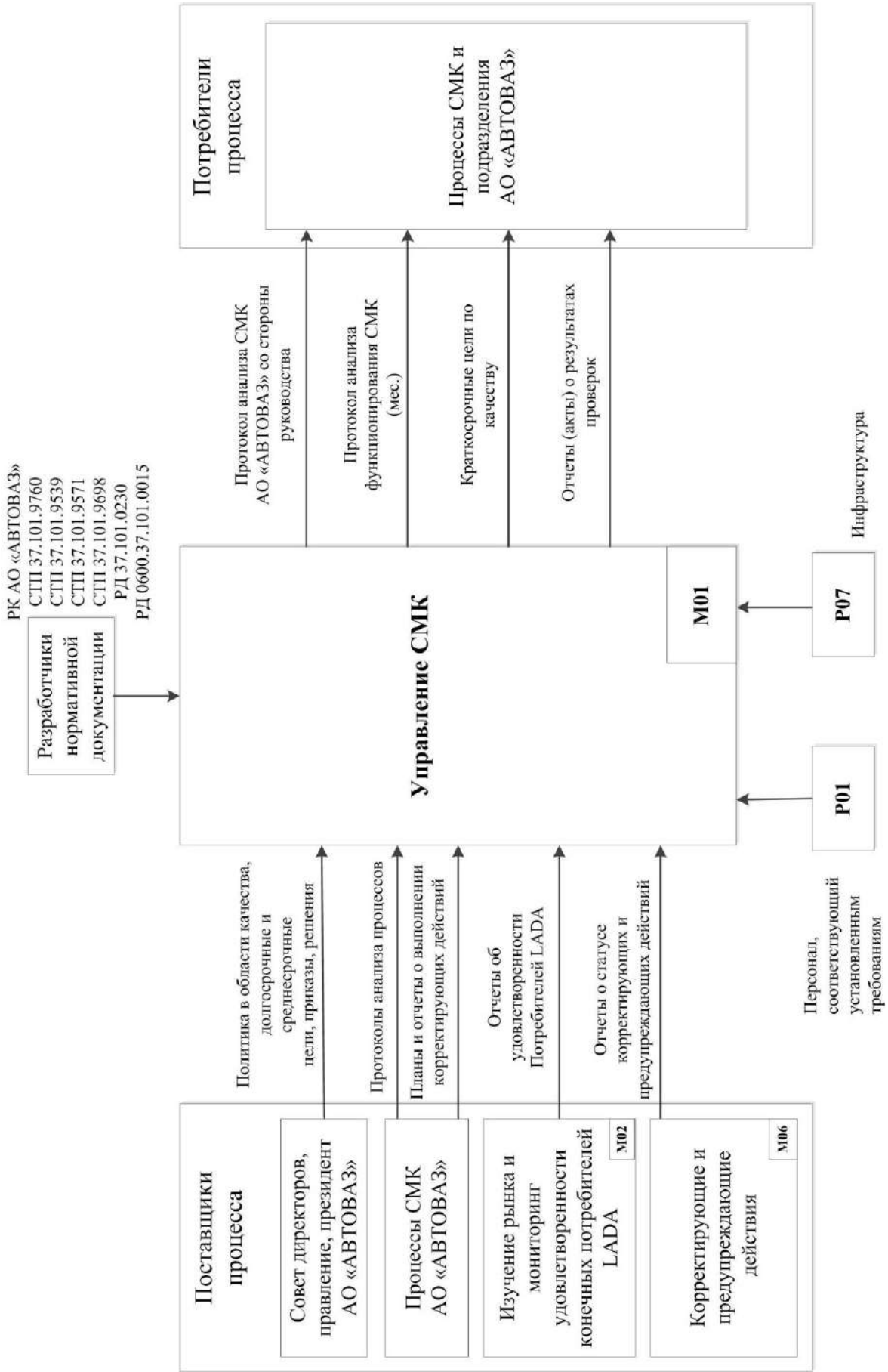


Рисунок 1.7 – Модель СМК и ландшафты процессов корпоративного управления качеством АО «АВТОВАЗ»

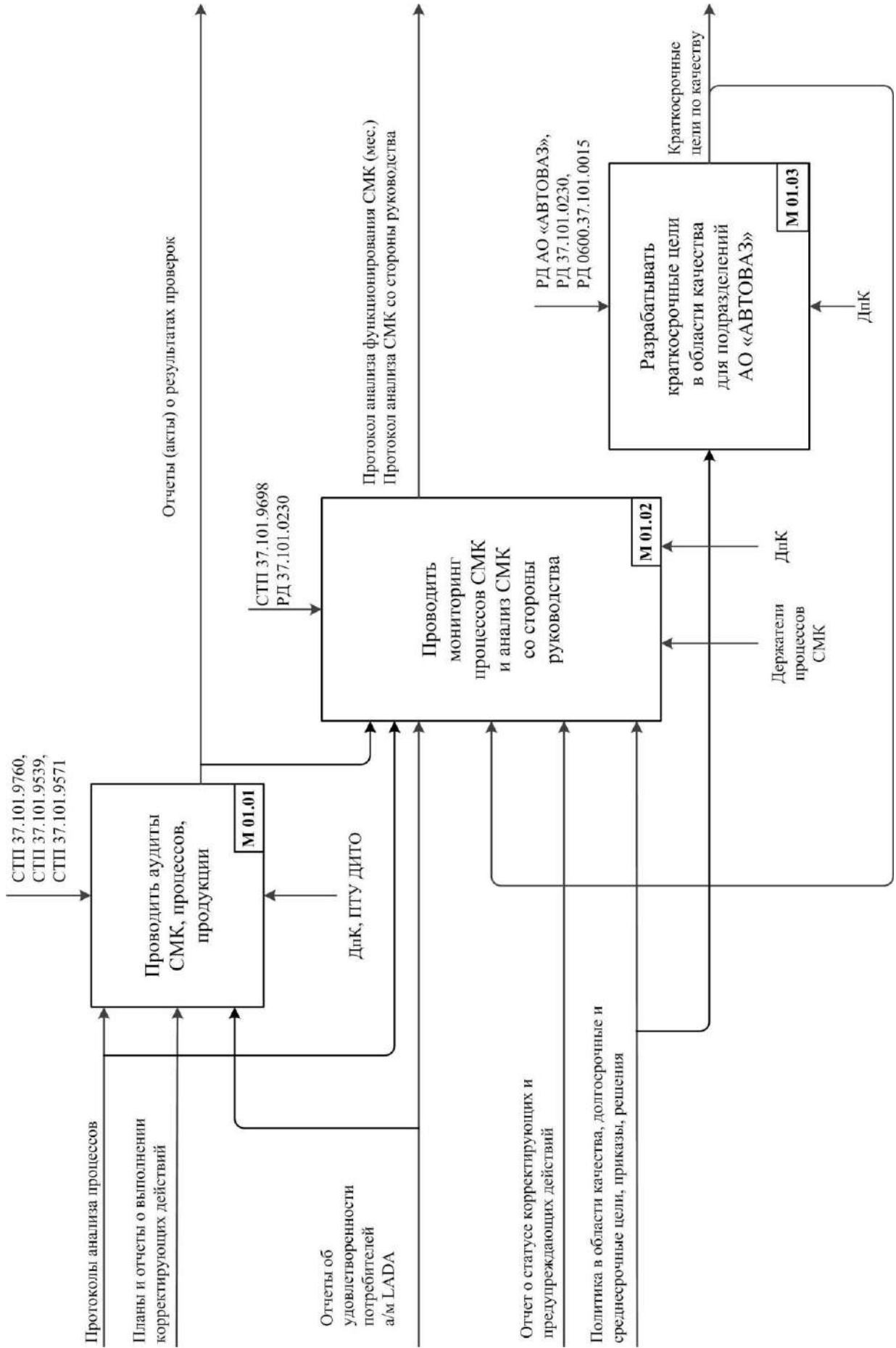


Рисунок 1.8 – Модель СМК и ландшафты процессов корпоративного управления качеством АО «АВТОВАЗ»

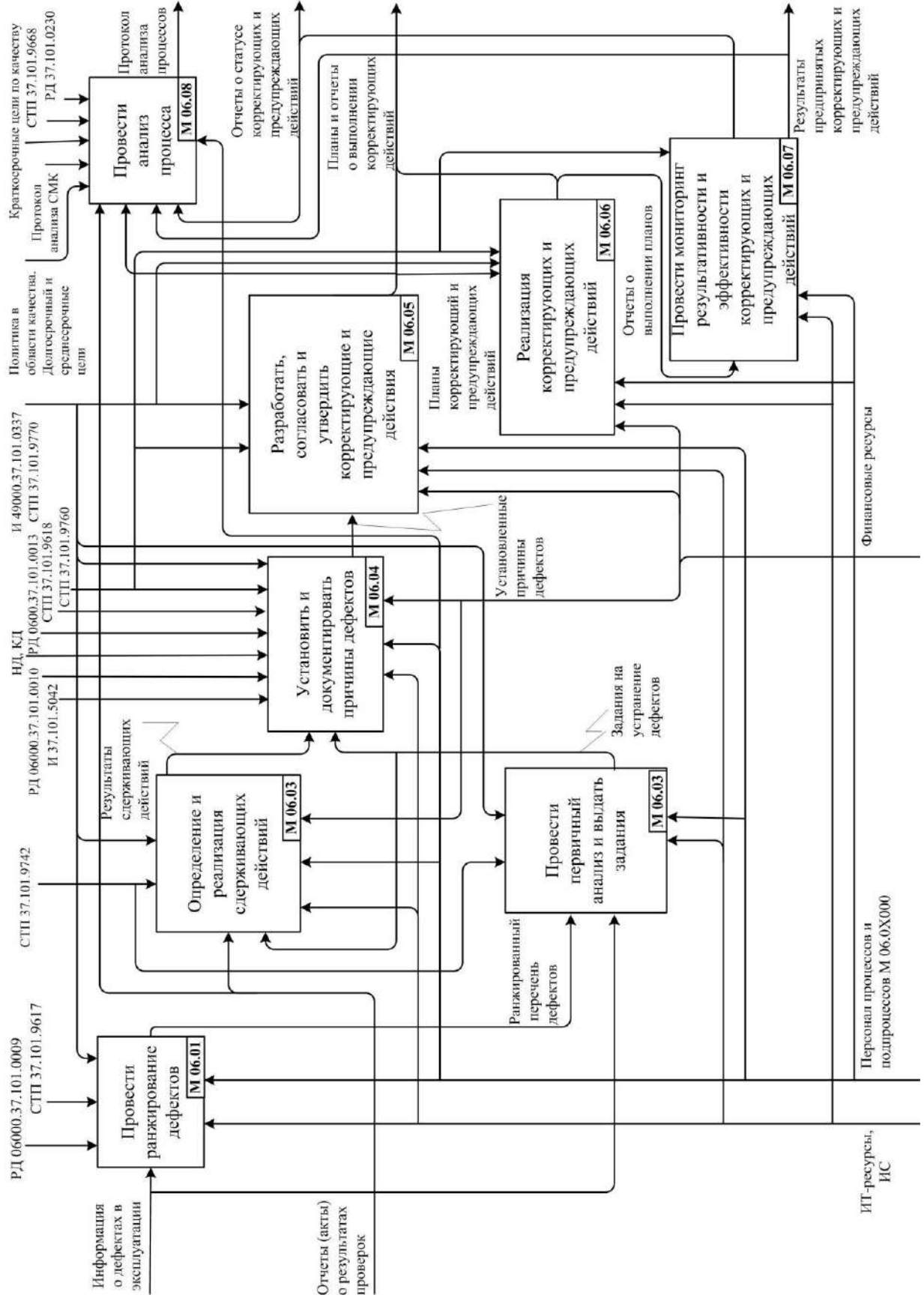


Рисунок 1.9 – Декомпозиция мониторинга процессов СМК и анализа СМК со стороны руководства

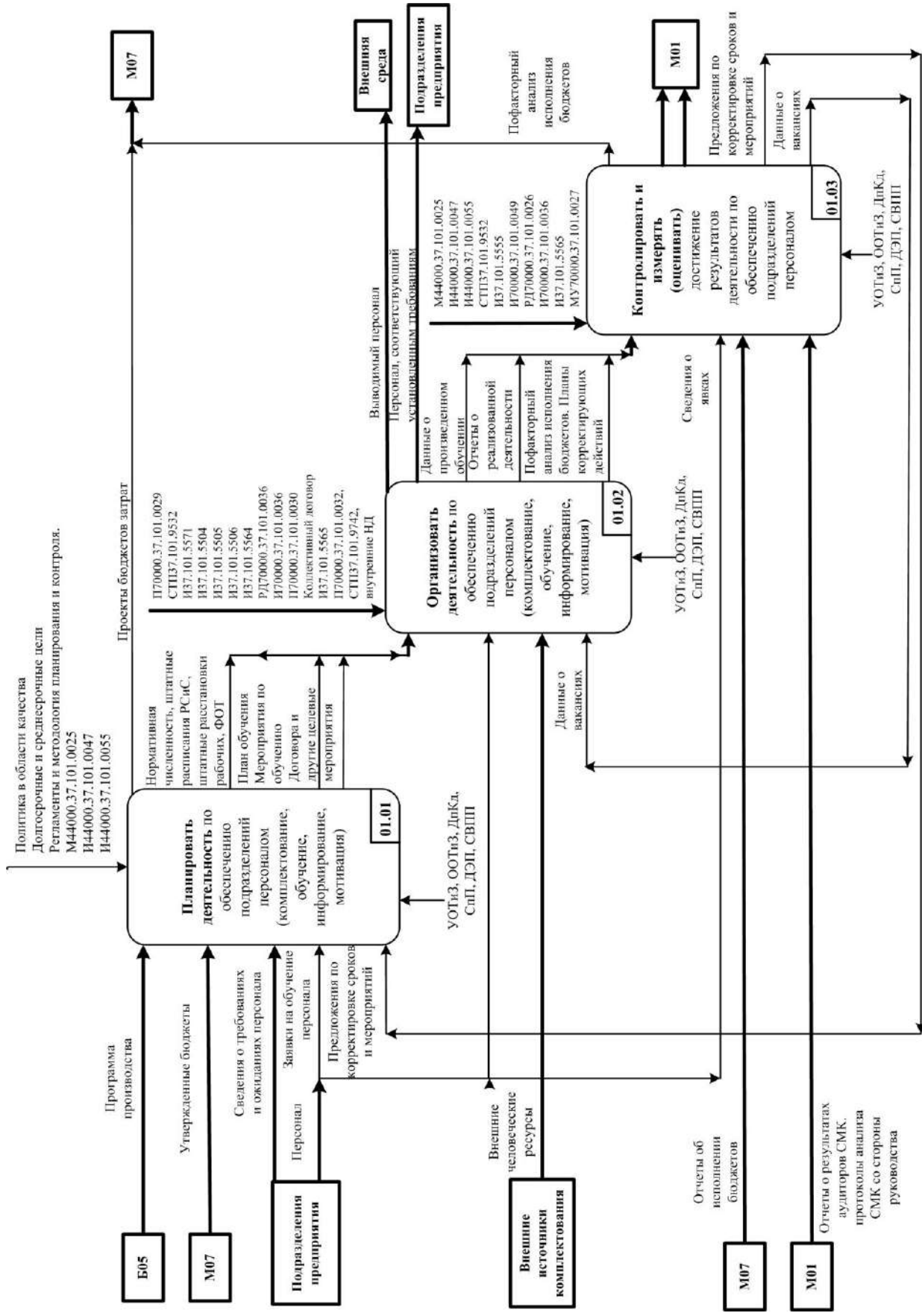


Рисунок 1.10 – Ландшафт процессов управления персоналом АО «АВТОВАЗ»

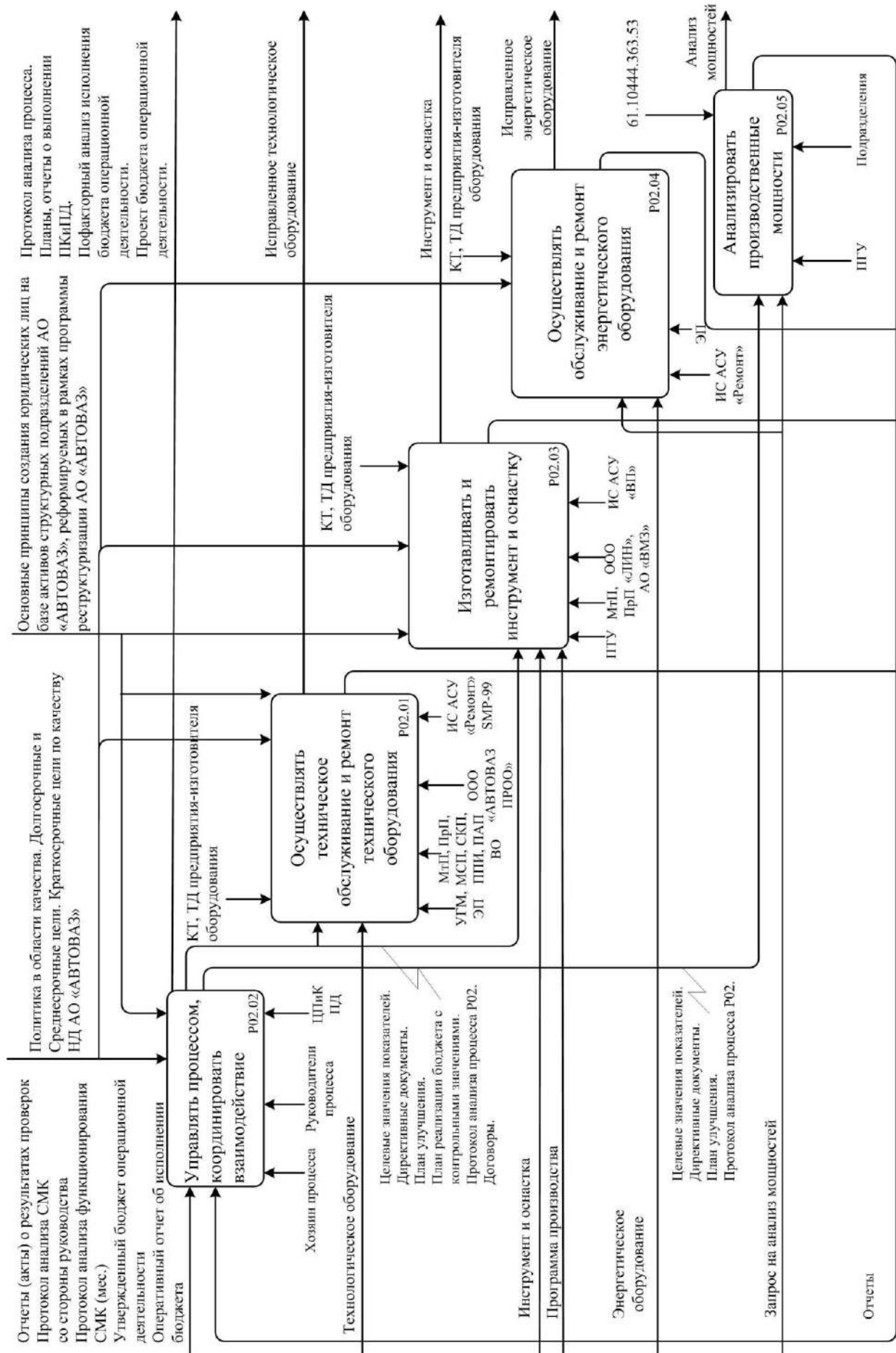


Рисунок 1.11 – Ландшафт процессов поддержания инфраструктуры АО «АВТОВАЗ»

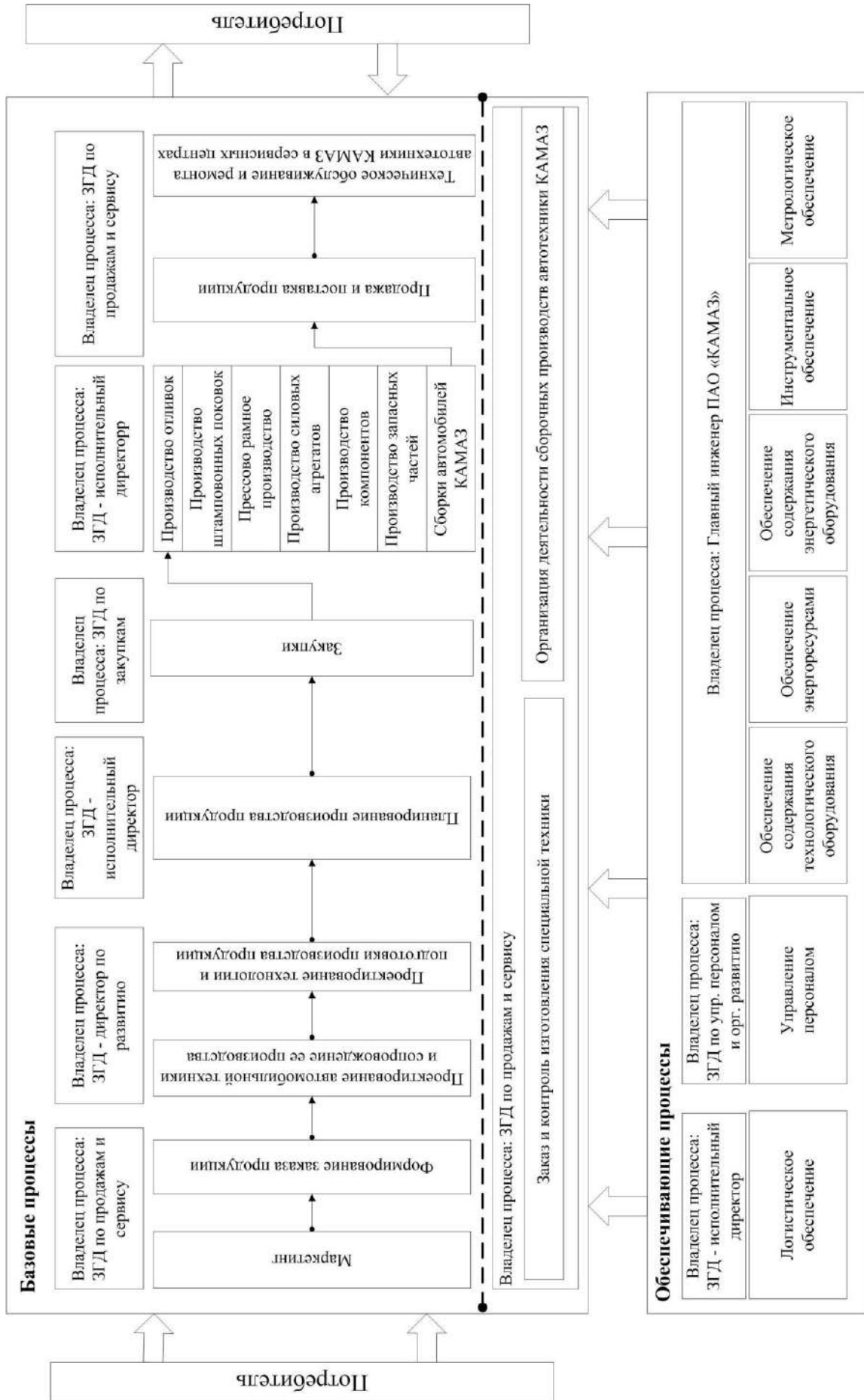


Рисунок 1.12 – Ландшафт процессов СМК ПАО «КАМАЗ»

Первичный анализ с точки зрения актуализированной проблемы показывает, что в разделе обеспечивающих процессов, владельцем которых является главный инженер, выделяются: обеспечение содержания технологического оборудования; обеспечение энергоресурсами; обеспечение содержания энергетического оборудования; инструментальное и метрологическое обеспечение (рисунок 1.13).



Рисунок 1.13 – Области карты владельцев процессов СМК ПАО «КАМАЗ»

Анализ рисунка 1.13 показывает, что обеспечение управления качеством производственных объектов в основном вытекает из вопросов обеспечения эффективности основного производственного процесса. Процессные инструменты управления качеством рассматриваемыми производственными объектами, как и в случае с АО «АВТОВАЗ», не просматриваются.

Таким образом, по результатам критического анализа СМК крупнейших промышленных предприятий Российской Федерации сделан вывод о том, что в системах управления инструменты обеспечения управления ОПО прописаны косвенно. Системными инструментами, обеспечивающими процессное управление в рамках выделенной отраслевой проблемы, существующие СМК промышленных предприятий не обладают.

Иными словами, в рамках работы требуется решить проблему, связанную с модернизацией действующих и разработкой новых инструментов управления качеством ОПО, которые будут действовать на системном и процессном уровнях корпоративного управления.

1.4 Современные подходы к контролю, оценке и управлению качеством на опасных производственных объектах

Трансформация объектов и их систем всегда подразумевает процессы предварительного изучения текущего состояния и описание будущего представления. В результате такого изучения синтезируются информационные и математические модели. Одним из средств представления информационных моделей является графическое отображение схем декомпозиции согласно методологии IDEF0 государственного стандарта Р 50.1.028-2001 [298]. Основными элементами таких моделей являются блоки, описывающие функции или процессы, информационные потоки и их трансформация в ходе решения задач при достижении цели. Согласно этой методологии диаграммы декомпозиции IDEF0 используется для создания функциональной модели, отображающей структуру и функции системы, а также потоки информации и материальных объектов, преобразуемые этими функциями.

В качестве используемой информации на диаграммах IDEF0 используется: входная информация; механизмы исполнения; информация для управления; выходная информация и вызовы, определяющие необходимость исследования процесса. Воспользуемся возможностями графического представления информационных моделей для процесса оказания услуги по экспертной оценке текущего состояния качества элементов ОПО.

1.4.1 Информационная модель процесса экспертизы текущего состояния качества элементов опасных производственных объектов

Традиционная технология проведения экспертной оценки качества продукции в настоящее время базируется на обоснованной системе нормативной документации, включая экспертную оценку элементов ОПО: технических устройств,

зданий и сооружений. Вопросы экспертной оценки технического состояния элементов ОПО входят в систему производственного контроля и экспертизы на МП.

На рисунке 1.14 приведена диаграмма декомпозиции уровня А0, в которой определены входные информационные потоки, возможные результаты, управляющие воздействия и исполнительные механизмы с точки зрения руководителя организации заказчика экспертизы, обеспечивающего информационное сопровождение экспертизы элементов ОПО по традиционной технологии, используемой в настоящее время.

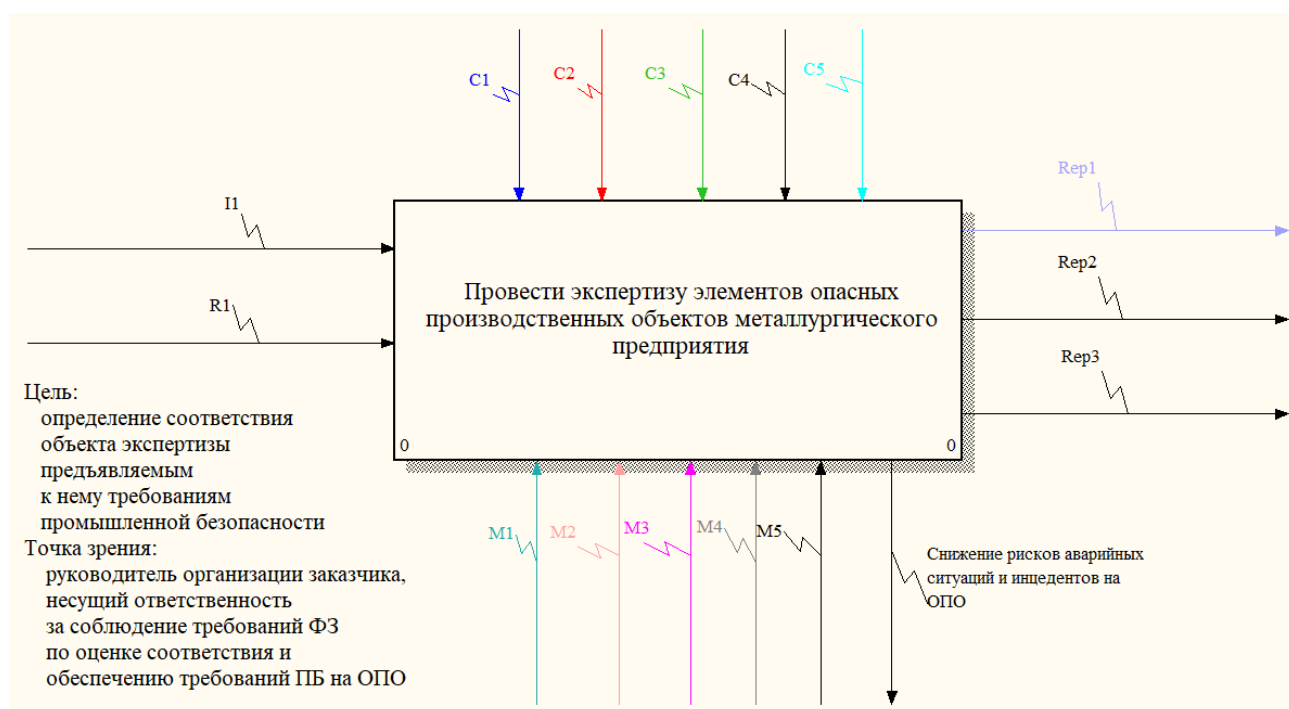


Рисунок 1.14 – Диаграмма декомпозиции А0 традиционной технологии процесса экспертизы элементов ОПО

Вызовом для проведения экспертизы является требование к снижению риска аварий и инцидентов на ОПО.

В таблице 1.2 представлен перечень обозначений, приведенных на рисунке 1.14.

Декомпозиция диаграммы А0 привела к построению древовидной системы из четырех уровней детализации модели (рисунок 1.15).

На каждом этапе декомпозиции вводится от трех до шести элементов, которые определяют функциональные блоки экспертной оценки качества элементов ОПО по традиционной технологии (рисунки 1.16-1.20).

Таблица 1.2 – Перечень обозначений, приведенных на рисунке 1.14

Обозначение	Значение
Перечень управляющей информации	
<i>C1</i>	Требования Федерального законодательства
<i>C2</i>	Требования Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор)
<i>C3</i>	Иные требования
<i>C4</i>	Особые требования заказчика
<i>C5</i>	Требования внутренних регламентов исполнителя
Перечень входной информации	
<i>I1</i>	Перечень объектов экспертной оценки и их характеристика
<i>R1</i>	Финансовые ресурсы для проведения экспертизы качества объекта
Перечень выходной информации	
<i>Rep1</i>	Объективная информация о соответствии (не в полной мере соответствии, не соответствии) требованиям промышленной безопасности
<i>Rep2</i>	Перечень дефектов и повреждений объекта экспертной оценки
<i>Rep3</i>	Перечень комплексных мероприятий для приведения объекта в состояние, соответствующее требованиям промышленной безопасности
Перечень исполнителей экспертизы	
<i>M1</i>	Представители организации-заказчика экспертизы
<i>M2</i>	Руководитель экспертной организации-исполнителя
<i>M3</i>	Ответственный за бюджет от экспертной организации-исполнителя
<i>M4</i>	Эксперты в области промышленной безопасности
<i>M5</i>	Специалисты по областям: разрушающий и неразрушающий контроль, расчеты конструкций зданий, сооружений, технических устройств, геодезия и др.



Рисунок 1.15 – Вид древовидной структуры детализации информационной модели

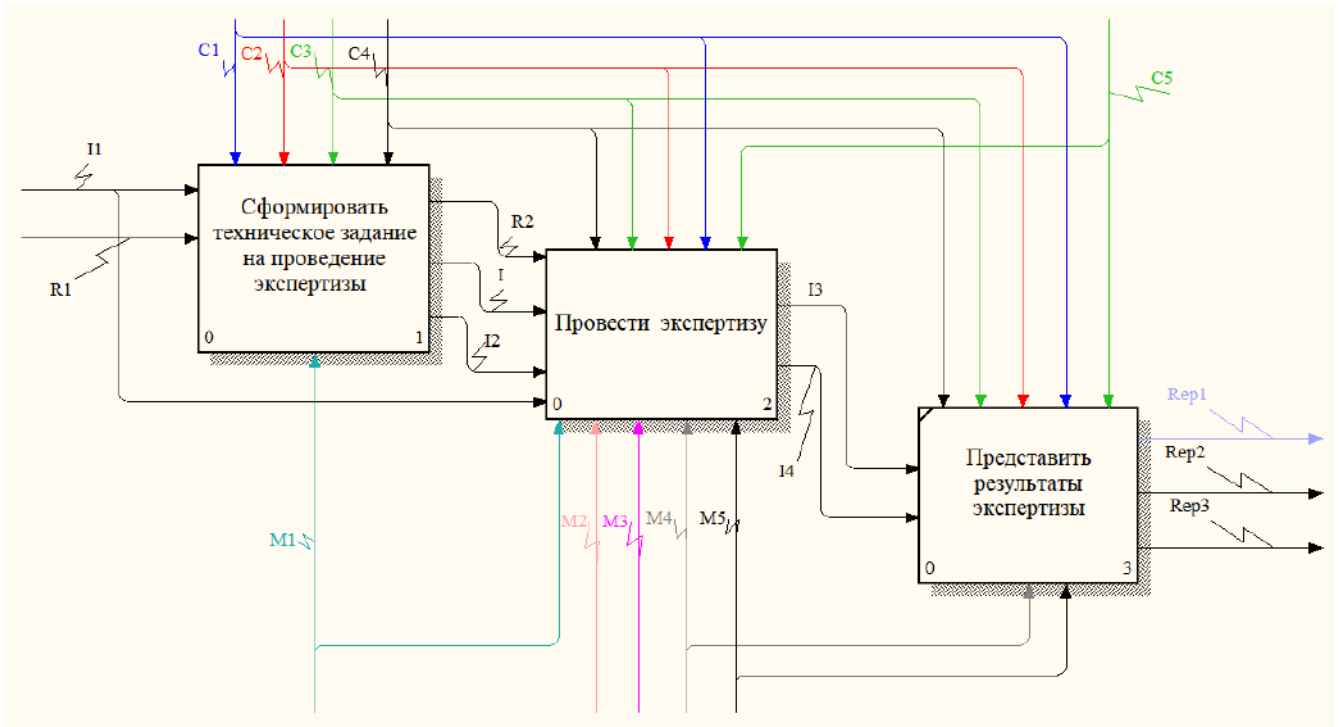


Рисунок 1.16 – Уровень декомпозиции A1 при проведении экспертизы элементов ОПО

На рисунке 1.16 введены обозначения: *I* – перечень объектов на экспертизу; *I2* – техническое задание на проведение экспертизы; *I3* – информация о текущем состоянии объектов экспертизы; *I4* – результаты экспертизы.

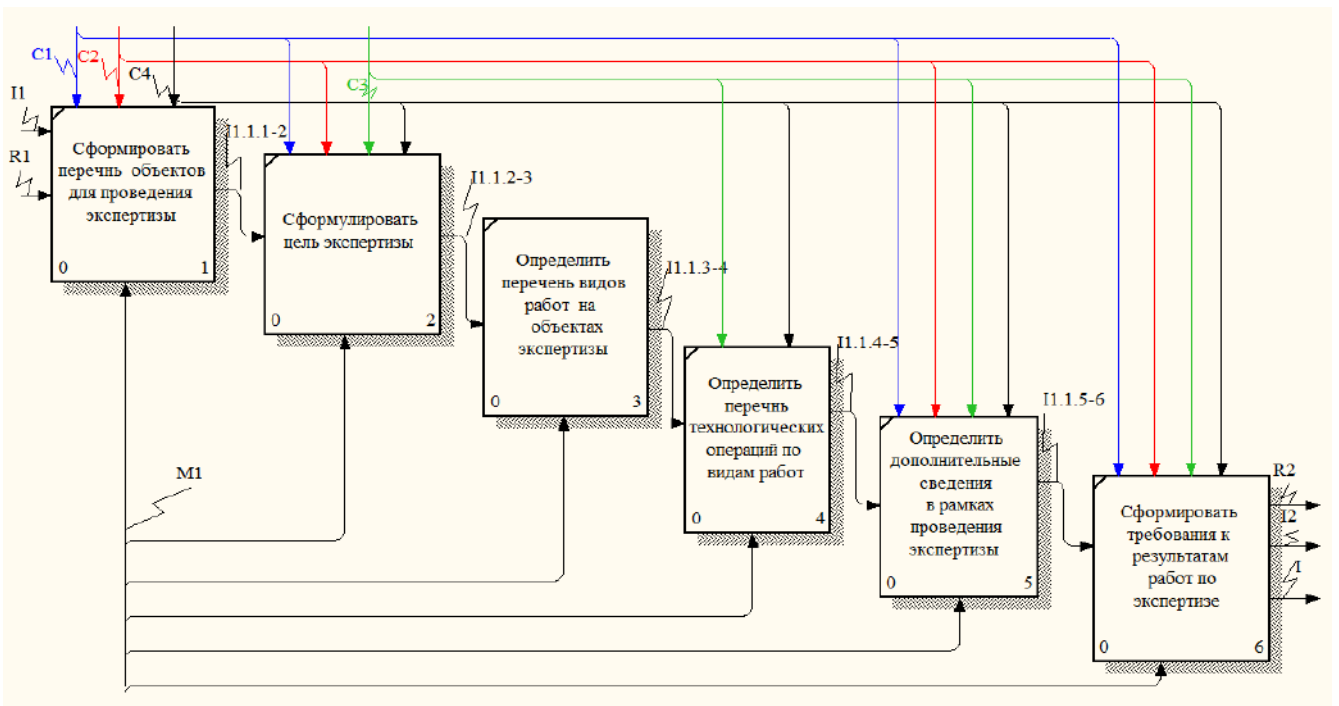


Рисунок 1.17 – Уровень декомпозиции A21 при проведении экспертизы элементов ОПО на этапе формирования технического задания

В таблице 1.3 представлен перечень обозначений, приведенных на рисунке 1.17.

Таблица 1.3 – Перечень обозначений, приведенных на рисунке 1.17

Обозначение	Значение
П.1.1-2	Утвержденный перечень объектов, подлежащих экспертной оценке
П.1.2-3	Сформулированная цель и назначение выполняемых работ
П.1.3-4	Перечень видов работ при проведении экспертизы
П.1.4-5	Перечень технологических операций при проведении экспертизы
П.1.5-6	Дополнительные сведения в части проведения экспертизы

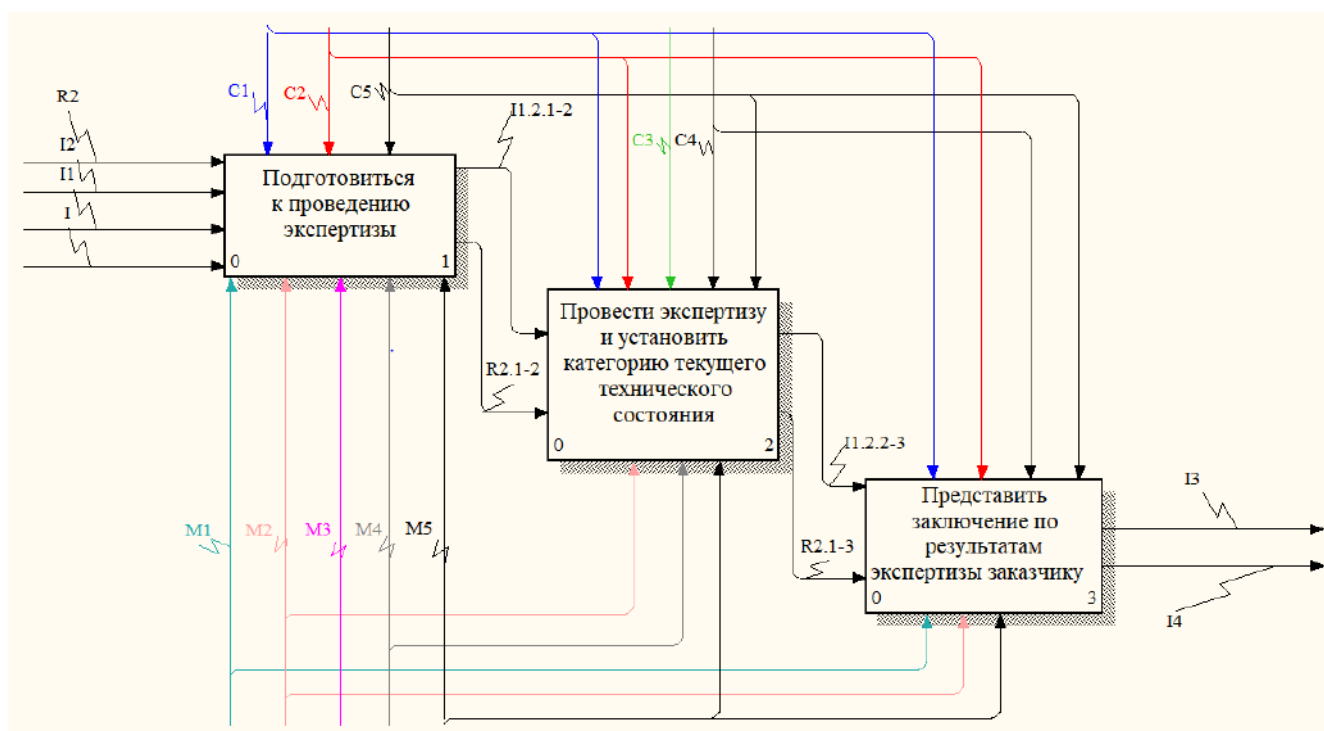


Рисунок 1.18 – Уровень декомпозиции А22 при проведении экспертизы элементов ОПО на этапе проведения экспертной оценки

В таблице 1.4 представлен перечень обозначений, приведенных на рисунке 1.18.

Таблица 1.4 – Перечень обозначений, приведенных на рисунке 1.18

Обозначение	Значение
П.1.2.1-2	Информация об объекте экспертизы, перечень средств для проведения экспертизы, кадровый состав исполнителей
П.1.2.2-3	Сведения о категории технического состояния объекта экспертизы
Р2.1-2	Информация о планируемых затратах на проведение экспертизы
Р2.1-3	Информация о фактических расходах на проведение экспертизы

На этапе выполнения работ непосредственно на объекте при проведении экспертизы рассматриваются три инструментальных этапа, в ходе которых формируется основная информация о состоянии элементов ОПО.

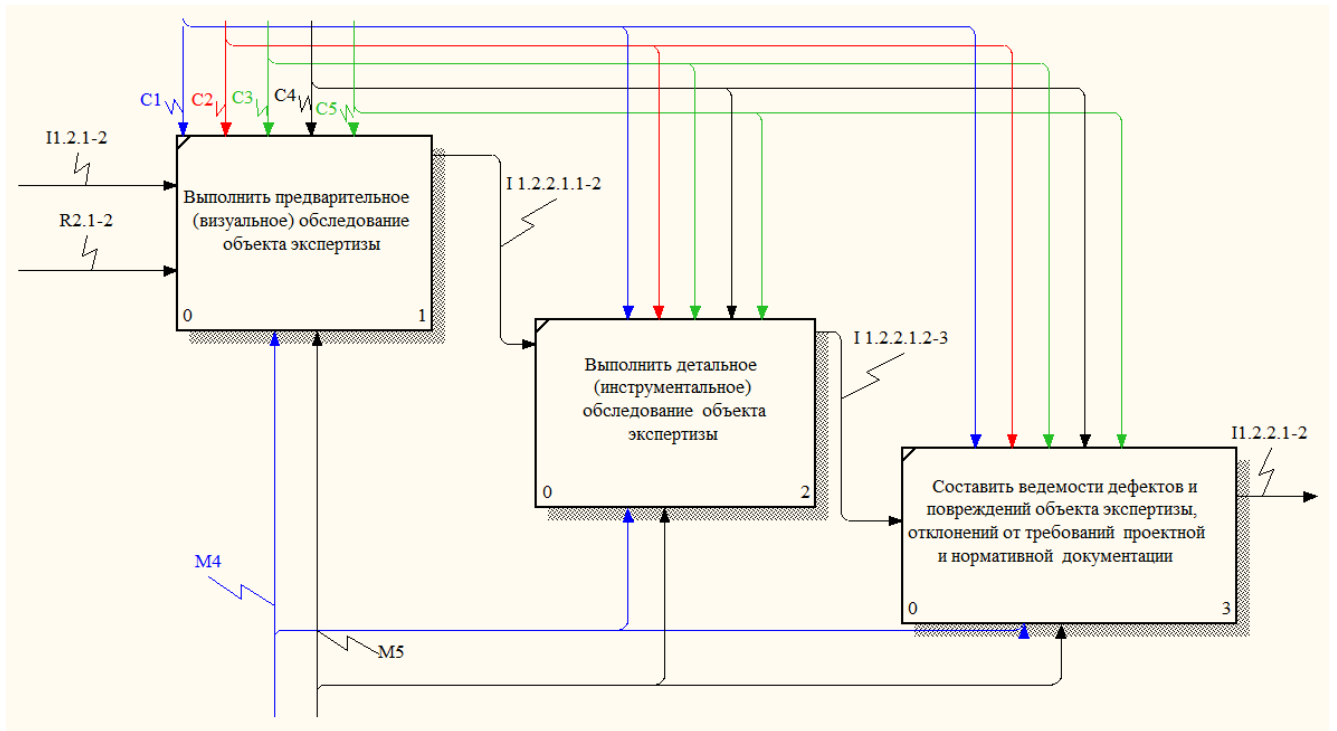


Рисунок 1.19 – Уровень декомпозиции A22.1 при проведении экспертизы элементов ОПО на этапе представления результатов

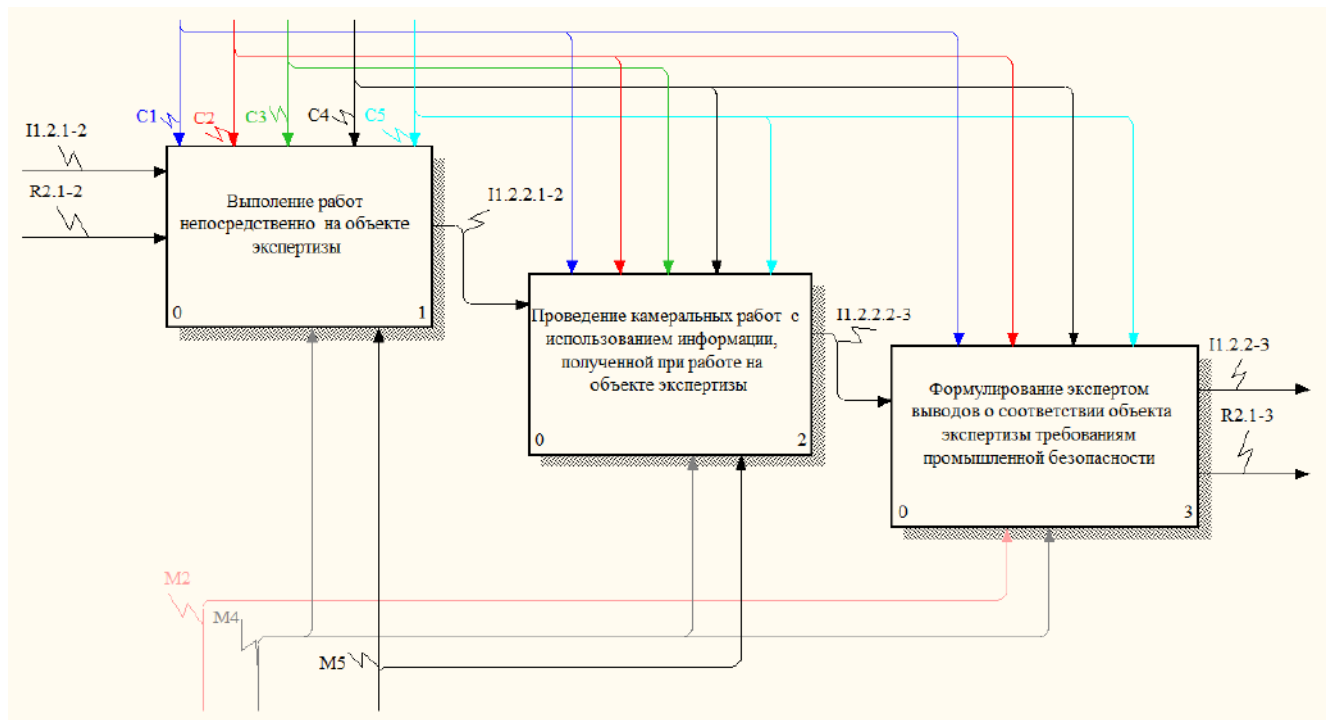


Рисунок 1.20 – Уровень декомпозиции A22.2 при проведении экспертизы элементов ОПО на этапе представления результатов

На рисунках 1.19, 1.20 введены обозначения: 1.2.2.1-2 – сведения о фактическом состоянии объекта экспертизы, включая количественные значения контролируемых параметров; 1.2.2.2-3 – сведения о соответствии (несоответствии) фактических значений контролируемых параметров объекта экспертизы установленным требованиям.

Анализ функциональной модели, отображающей информационные потоки при проведении экспертизы элементов ОПО, показал, что основным инструментальным средством является человек-эксперт. В обязанности эксперта входит визуальное и инструментальное обследование. Применение новых информационных технологий и прикладных цифровых платформ (ПЦП) традиционной технологией проведения экспертизы не предусмотрено.

1.4.2 Предпосылки развития информационной модели процесса экспертизы элементов опасных производственных объектов с учетом динамики

Современные требования проекта «Наука» определяют приоритетные направления, среди которых *переход к передовым цифровым*, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта [257]. Указанное приоритетное направление определило предпосылки к построению и использованию ПЦП при экспертизе элементов ОПО.

Опираясь на возможности использования цифровых технологий как инструмента-помощника в принятии решений при экспертной оценке элементов ОПО, построена информационная модель процесса оказания услуг по экспертной оценке качества элементов ОПО с учетом их динамики. Информационная модель представлена в виде схем декомпозиции по методологии IDEF0 согласно государственному стандарту Р 50.1.028-2001 [298]. Построенная информационная модель нового состояния отличается от традиционного процесса экспертизы элементов ОПО применением новых инструментов – технических средств, включая беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для сбора фото- и видеоинформации и по-

строения «цифровой тени» объекта.

Система-помощник для принятия экспертных решений при оценке качества элементов ОПО промышленного предприятия должна обеспечивать:

- сбор и анализ информации о выбранных пилотных объектах, включая проектную и эксплуатационную документацию, данные о техническом состоянии объектов;

- соблюдение разработанной методики облета БПЛА выбранных объектов и получение графической информации о текущем состоянии технических устройств, зданий или сооружений;

- наличие информационной модели технических устройств, зданий или сооружений, а также их частей;

- реализацию методики контроля состояния и прогнозирования динамики качества технических устройств, зданий и сооружений и их частей на ОПО МП.

Диаграмма декомпозиции уровня А0, приведенная на рисунке 1.14, определила входные информационные потоки, возможные результаты, управляющие воздействия и исполнительные механизмы с точки зрения инженера технолога, обеспечивающего информационное сопровождение экспертизы элементов ОПО [179].

Отличительной особенностью информационной модели является внедрение в исполнительные механизмы: технических средств получения графической информации, включая БПЛА, и прикладного объектно-ориентированного программного обеспечения для введения количественных оценок сегментов, подвергшихся разрушению, и прогнозирования их динамики.

Уточнение диаграммы А0 привело к декомпозиции информационной модели на три блока: сбор информации об исследуемом объекте; построение информационной модели объекта исследования в виде «цифровой тени», способной предсказать поведение объекта только в тех условиях, в которых осуществлялся сбор данных; разработка комплекса методик для трансформации объекта исследования и системы управления качеством и ее модулей (рисунок 1.21).



Рисунок 1.21 – Диаграмма декомпозиции А0 для интеллектуальной системы принятия решений при экспертной оценке элементов ОПО

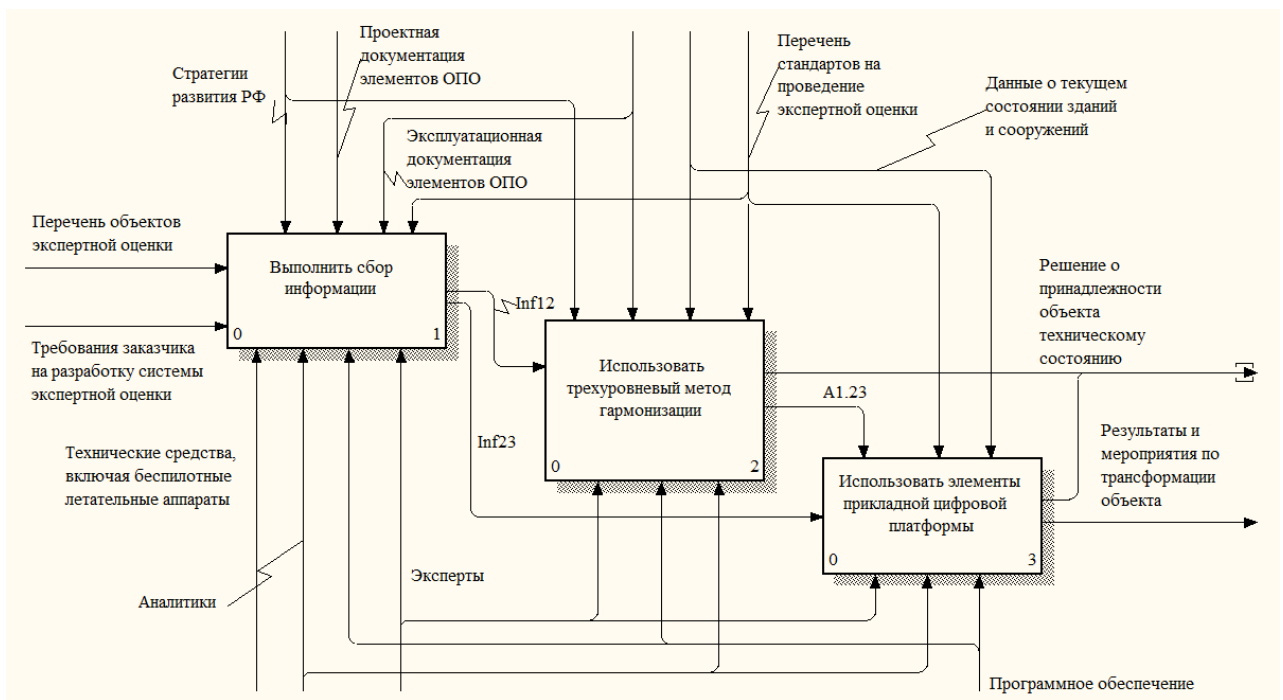


Рисунок 1.22 – Диаграмма декомпозиции А1 с укрупненными блоками интеллектуальной системы принятия решений при оценке технического состояния элементов ОПО

На рисунке 1.22 введены обозначения: *Inf12* – структурированная информация, отобранная в соответствии с запросом на обработку; *Inf23* – результаты моделирования выбранных объектов.

Этап сбора информации, в свою очередь, состоит из четырех этапов (рисунок 1.23). Наиболее сложным и объемным из них является этап определения перечня информации. Исполнение этого этапа возлагается на экспертов и аналитиков. Одним из механизмов исполнения являются БПЛА. Результатом сбора информации с помощью БПЛА является фото- и видеопоток, полученные в ходе облета объектов по заданной траектории или заданию эксперта.

Особенностью блока «Сбор информации» является использование возможностей БПЛА, который позволяет получить доступ к удаленным труднодоступным элементам технических устройств, зданий и сооружений.

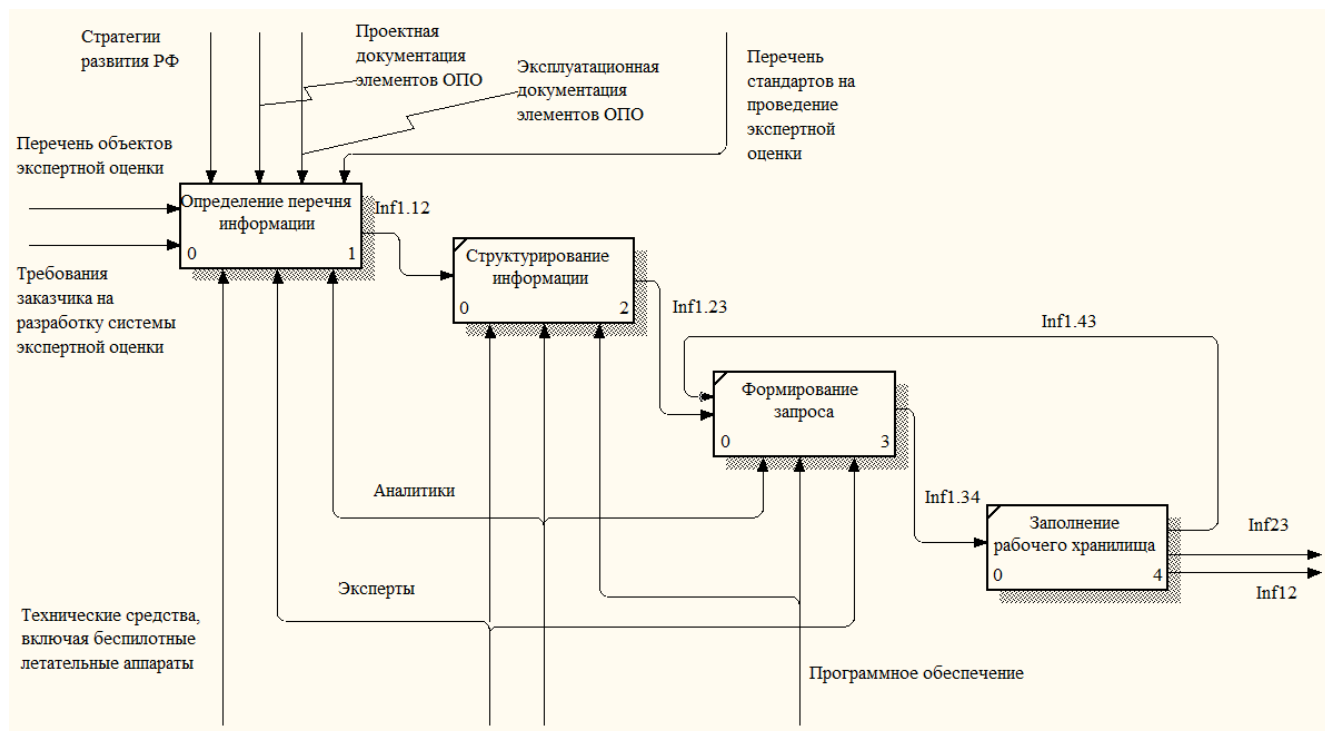


Рисунок 1.23 – Диаграмма декомпозиции А2 для блока «Сбор информации»

На рисунке 1.23 введены обозначения: *Inf1.12* – перечень информации в виде сырых данных; *Inf1.23* – структурированная консолидированная информация об изучаемых объектах; *Inf1.24* – информация, отобранная в соответствии с требованиями запроса; *Inf1.43* – требование на уточнение запроса.

Для агрегирования полной информации об объекте исследования необходимо провести консолидирование данных, получаемых из трех источников (рисунок 1.24): аналитическая информация об эталонном состоянии объекта на основе проектной документации; экспертная информация о текущем состоянии; инфор-

мация из видеопотока в динамике по серии исследований, распределенных во времени. Блок консолидации позволяет сформировать базу данных статической и динамической информации для проведения анализа по развитию дефектов и повреждений во времени.

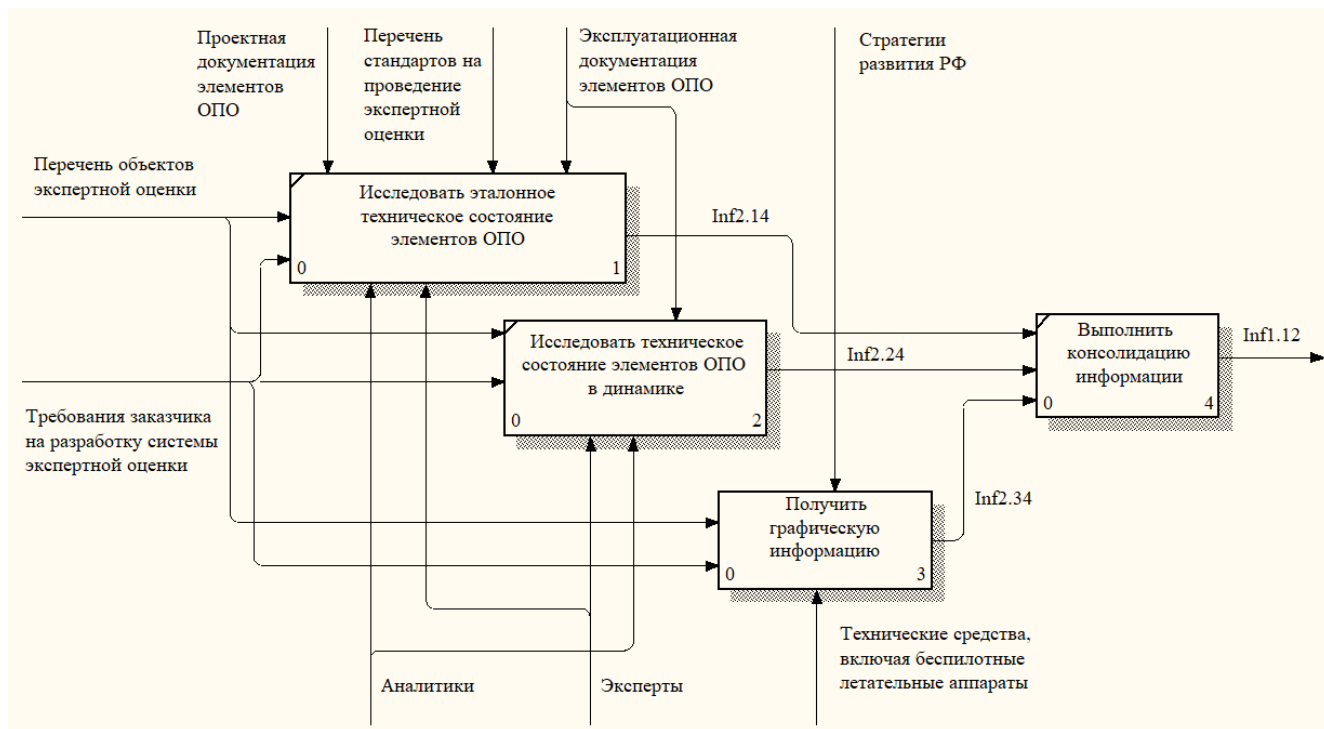


Рисунок 1.24 – Диаграмма декомпозиции А3 для блока «Определение перечня информации»

На рисунке 1.24 введены обозначения: *Inf2.14* – аналитическая информация об эталонном состоянии объекта на основе проектной документации; *Inf2.24* – экспертная информация о текущем состоянии; *Inf2.34* – информация из видеопотока в динамике по серии исследований.

Одним из перспективных направлений развития экспертной системы для повышения результативности экспертной оценки с использованием новой информационной модели является наличие возможности в автоматическом режиме воспроизводить траекторию облета объекта БПЛА (рисунок 1.25). Сопоставление цифровой тени объекта в различные периоды времени позволяет как в режиме работы эксперта, так и в режиме автоматизированной сегментации определить динамику дефектов и повреждений объекта, например, таких как разрушение соединительных швов, развитие трещин, пор, искажение геометрии и др. Однако точ-

ное воспроизведение траектории требует специального оснащения БПЛА системами позиционирования.

Полная схема декомпозиции информационной модели процесса экспертной оценки качества элементов ОПО с учетом динамики потребовала разработки шести уровней декомпозиции.

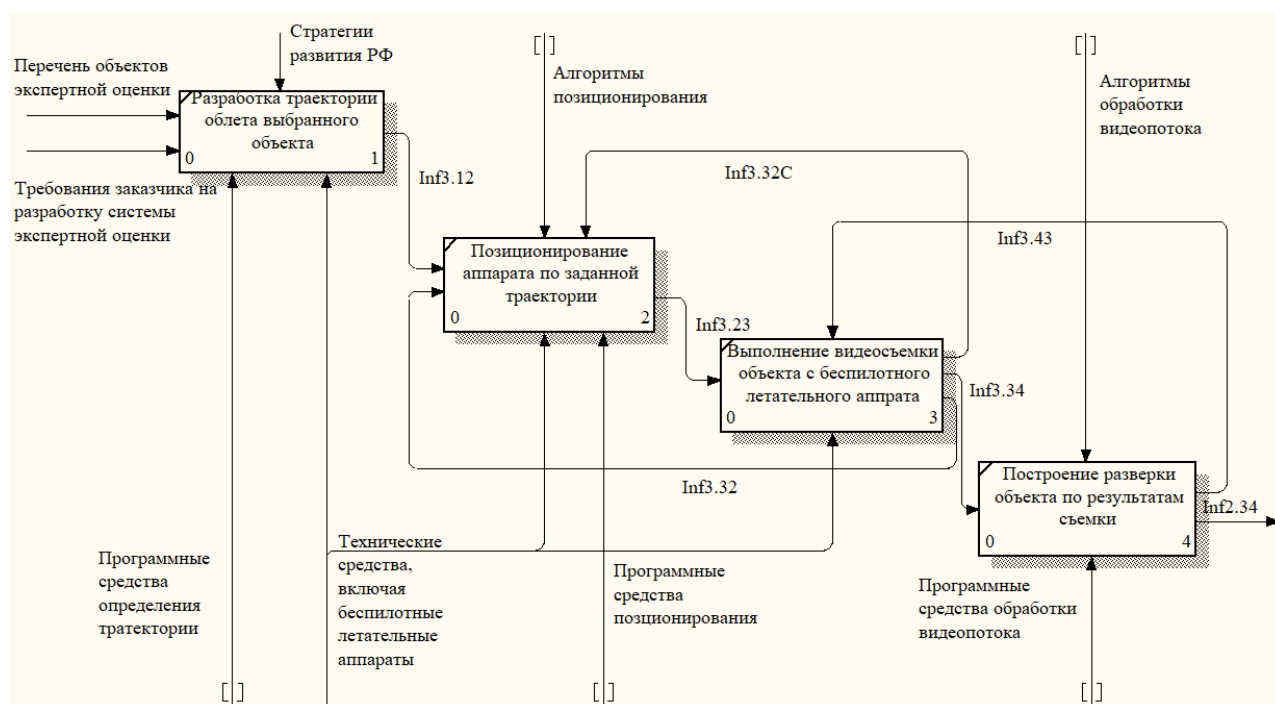


Рисунок 1.25 – Диаграмма декомпозиции А4 для блока «Получение графической информации»

На рисунке 1.25 введены обозначения: *Inf3.12* – математическое описание траектории движения; *Inf3.23* – координаты БПЛА для позиционирования при видеосъемке; *Inf3.34* – видеопоток в заданный момент времени; *Inf3.32* – уточнение траектории движения; *Inf3.32C* – указания на управление БПЛА при уточнении траектории; *Inf3.43* – требования на выбор кадров из видеопотока.

На этапе сбора информации выявлены особенности системы. Среди них следует отметить:

- необходимость консолидации информации трех видов: аналитической, экспертной и информацией из видеопотока, полученного с помощью БПЛА;
- требование заказчика к мониторингу состояния объектов во времени определило необходимость построения воспроизводимой траектории движения БПЛА;

– ограничения ресурсов хранения структурированной информации привело к задаче построения развертки объекта исследования, полученного из видеопотока с оптимального расстояния при движении БПЛА по заданной траектории, для формирования «цифровой тени» объекта.

Таким образом, требование перехода к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта, наличие развитого аппаратного обеспечения в виде БПЛА и средств для проектирования и разработки прикладного объектно-ориентированного программного обеспечения явились предпосылками для совершенствования и дополнения традиционного процесса экспертизы элементов ОПО на МП.

1.5 Характеристика негативных эффектов, возникающих при эксплуатации опасных производственных объектов промышленных предприятий

По данным [280] в Российской Федерации на конец 2020 г. насчитывается более 325 тыс. промышленных предприятий и их количество продолжает ежегодно возрастать. При этом их доля в ВВП России составляет около 33% и занятость населения в этой области около 27 %. Развитие современного промышленного предприятия сопровождается проектированием, строительством и эксплуатацией ОПО.

На рисунке 1.26 показано количество ОПО, зафиксированных в Российской Федерации в 2016 и 2020 гг. Именно ОПО составляют наибольший риск возникновения аварий и инцидентов.

По официальным данным Ростехнадзора за 2020 г. [81] в государственном реестре на 01.01.2020 г. зарегистрировано 178846 ОПО. Большое количество ОПО, более 150 тыс. единиц, потребовало построения их классификации по четырем основным признакам: области применения, признаку опасности, классу опасности и месту расположения (рисунок 1.27).

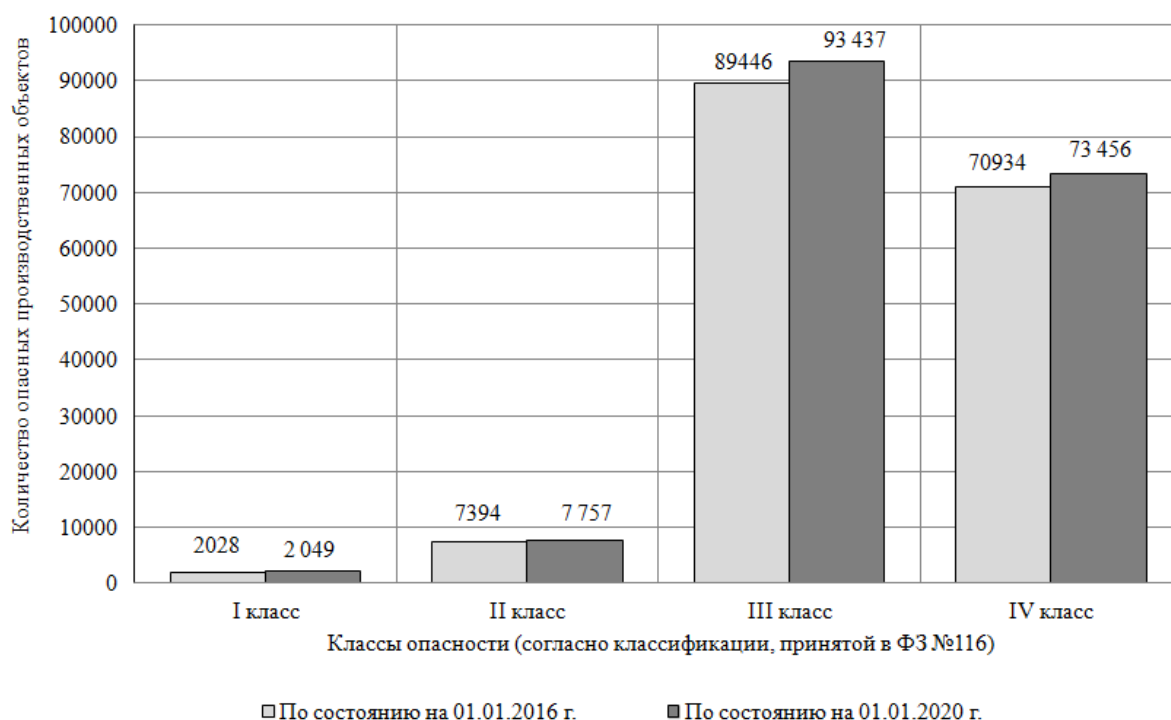


Рисунок 1.26 – Количество ОПО в Российской Федерации в 2016 и в 2020 гг.

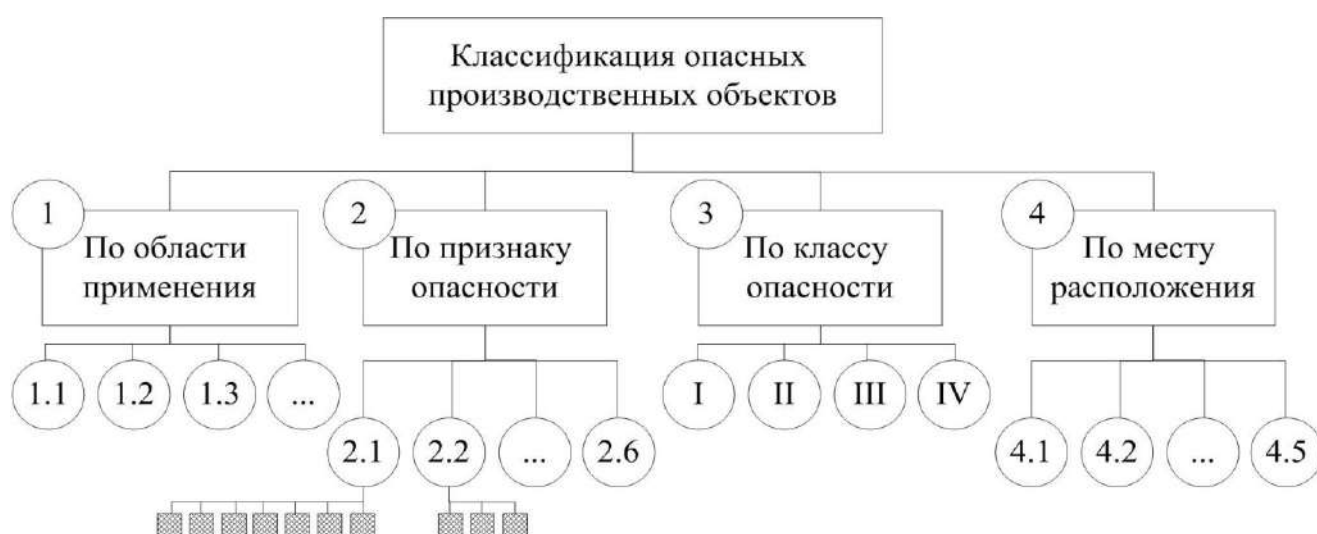


Рисунок 1.27 – Обобщенная схема классификации ОПО

Детализация каждого блока по классам ОПО приведена на рисунках 1.28 (блок 2), 1.26 (блок 4) и в таблице 1.5 (блок 3).

По области применения (блок 1 на рисунке 1.27) ОПО классифицируются согласно отраслям промышленности Российской Федерации: ОПО угольной, сланцевой и нефтяной промышленности; ОПО горнорудной и нерудной промышленности; ОПО с наличием взрывчатых веществ и материалов; ОПО нефтегазодобывающего комплекса и т.п. Среди отраслей экономики важное место занимает

металлургическая промышленность, в которой функционирует 905 предприятий с находящимися на их территории 1293 ОПО [81].

Одним из важнейших критериев классификации ОПО является признак опасности. Основные группы ОПО по признаку опасности представлены на рисунке 1.28.



Рисунок 1.28 – Схема классификации ОПО по признаку опасности
(блок 2 на рисунке 1.27)

ОПО в зависимости от уровня потенциальной опасности аварий классифицируются на четыре класса опасности: чрезвычайно высокой опасности (I класс), высокой опасности (II класс), средней опасности (III класс), низкой опасности (IV класс). Классификация по классу опасности, исходя из идентификационных признаков ОПО, представлена в таблице 1.5 [301].

Таблица 1.5 – Классификация ОПО по классу опасности (блок 3 на рисунке 1.27)

№	Идентификационные признаки ОПО	Класс опасности			
		I	II	III	IV
1	Хранение химического оружия, объектов по уничтожению химического оружия, спецхимия	✓			
2	Для ОПО бурения и добычи нефти, газа и газового конденсата:				
2.1	опасных в части выбросов продукции с содержанием сернистого водорода свыше 6 процентов объема такой продукции		✓		
2.2	опасных в части выбросов продукции с содержанием сернистого водорода от 1 до 6 процентов объема такой продукции;			✓	
2.3	прочие ОПО, не вошедшие п. 2.1 и 2.2				✓
3	Газораспределительные станции, сети газораспределения и газопотребления:				
3.1	ОПО, предназначенных для транспортировки природного газа под давлением свыше 1,2 МПа или сжиженного углеводородного газа под давлением свыше 1,6 МПа		✓		
3.2	ОПО, предназначенных для транспортировки природного газа под давлением свыше 0,005 до 1,2 МПа включительно или сжиженного углеводородного газа под давлением свыше 0,005 до 1,6 МПа включительно			✓	
4	Оборудование, работающее под избыточным давлением более 0,07 МПа: пара, газа (в газообразном, сжиженном состоянии); воды при температуре нагрева более 115 °С; иных жидкостей при температуре, превышающей температуру их кипения при избыточном давлении 0,07 МПа:				
4.1	ОПО, осуществляющих теплоснабжение населения и социально значимых категорий потребителей, ОПО с применением оборудования, работающего под избыточным давлением 1,6 МПа и более (за исключением оборудования автозаправочных станций, предназначенных для заправки транспортных средств природным газом) или при температуре рабочей среды 250 °С и более			✓	
4.2	прочие ОПО, не вошедшие в п. 4.1				✓
5	Стационарно установленные грузоподъемные механизмы (за исключением лифтов, подъемных платформ для инвалидов), эскалаторы в метрополитенах, канатные дороги, фуникулеры:				
5.1	подвесных канатных дорог			✓	
5.2	прочие ОПО, не вошедшие в п. 5.1				✓
6	Получаются, транспортируются, используются расплавы черных и цветных металлов, сплавы на основе этих расплавов с применением оборудования, рассчитанного на максимальное количество расплава 500 кг и более:				
6.1	ОПО, на которых используется оборудование, рассчитанное на максимальное количество расплава 10 000 кг и более		✓		
6.2	ОПО, на которых используется оборудование, рассчитанное на максимальное количество расплава от 500 до 10 000 кг			✓	
7	Ведутся горные работы (за исключением добычи общераспространенных полезных ископаемых и разработки россыпных месторождений полезных ископаемых, осуществляемых открытым способом без применения взрывных работ), работы по обогащению полезных ископаемых				
7.1	шахты угольной промышленности и иные объекты ведения подземных горных работ на участках недр, где могут произойти: взрывы газа и (или) пыли; внезапные выбросы породы, газа, пыли; горные удары; прорывы воды в подземные горные выработки	✓			

Окончание таблицы 1.5

№	Идентификационные признаки ОПО	Класс опасности			
		I	II	III	IV
7.2	объекты ведения подземных горных работ, не вошедшие в п. 7.1; объекты, на которых ведутся открытые горные работы, объем разработки горной массы которых составляет 1 млн м ³ в год и более; объекты переработки угля (горючих сланцев)		✓		
7.3	объекты, на которых ведутся открытые горные работы, объем разработки горной массы которых составляет от 100 тыс. до 1 млн м ³ в год, а также объектов, на которых ведутся работы по обогащению полезных ископаемых			✓	
7.4	объекты, на которых ведутся открытые горные работы, объем разработки горной массы которых составляет менее чем 100 тыс. м ³ в год				✓
8	Осуществляется хранение или переработка растительного сырья, в процессе которых образуются взрывоопасные пылевоздушные смеси, способные самовозгораться, возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления, а также осуществляется хранение зерна, продуктов его переработки и комбикормового сырья, склонных к самосогреванию и самовозгоранию:				
8.1	элеваторы ОПО мукомольного, крупяного и комбикормового производства			✓	
8.2	прочие ОПО, не вошедшие в п. 8.1				✓

Долевое распределение ОПО по классам опасности в Российской Федерации, зафиксированное в 2016 и 2020 гг., представлено на рисунке 1.29. Наибольшую долю составляют ОПО, относящиеся к классу III – около 51,17% и классу IV – около 40 % [81].

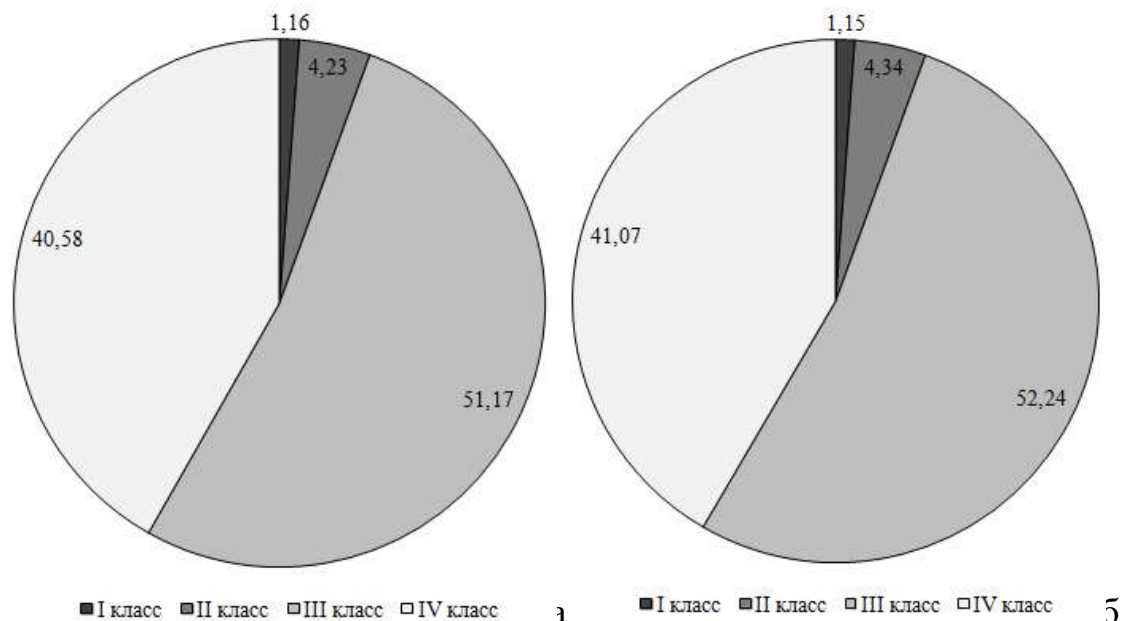


Рисунок 1.29 – Долевое распределение ОПО в Российской Федерации по классам опасности: а – в 2016 г.; б – в 2020 г.

Для предприятий металлургической отрасли характерно применение ОПО других областей, например, горнорудной, ОПО с наличием взрывчатых материалов различного назначения, ОПО химической и нефтехимической промышленности, ОПО систем водоподготовки, газоснабжения, тепло- и электроэнергетики, ОПО с наличием грузоподъемных механизмов.

В металлургической отрасли к I классу опасности относятся 20 объектов, ко II классу опасности – 328, к III классу опасности – 945. В 2020 г. отраслью чёрной металлургии произведено: 52 млн т чугуна (увеличение на 1,5 % к объему производства 2019 г.), 73,8 млн т стали (на уровне 2019 г.), 61,8 млн т проката черных металлов (увеличение на 0,3 % к объему производства 2019 г.), 10,9 млн т стальных труб (снижение на 12,3 % от объема производства 2019 г.). В 2021 г. произведено: 53,8 млн т чугуна (увеличение на 3,4 % к объему производства 2020 г.), 76,8 млн т стали (на 4,4% больше, чем в 2020 г.), 66,8 млн т проката черных металлов (увеличение на 7,5 % к объему производства 2020 г.), 11,2 млн т стальных труб (увеличение на 2,3 % к объему производства 2020 г.). За первые четыре месяца 2022 г. произведено: 17,8 млн т чугуна (увеличение на 1,2 % к объему производства за аналогичный период 2021 г.), 19,7 млн т стали (на 5,3% меньше производства за аналогичный период 2021 г.), 21,7 млн т проката (на 0,5 % больше производства за аналогичный период 2021 г.), 4,27 млн т стальных труб (на 19,8 % больше производства за аналогичный период 2021 г.).

В составе предприятий металлургической отрасли имеются ОПО I, II, III и IV классов опасности, способные в случае аварии вызвать нарушение или остановку технологического процесса, разрушение технических устройств, зданий и сооружений, причинить ущерб жизни и здоровью граждан, оказать негативное воздействие на окружающую среду.

Численность работников в металлургической отрасли составила около 590 тыс. чел. [81], что составляет $\approx 0,4\%$ от численности населения России (по данным Росстата [384] среднегодовая численность постоянного населения России составляет 146459,8 тыс. чел.).

Дополнительно ОПО классифицируются по месту расположения (рисунок 1.30).



Рисунок 1.30 – Классификация ОПО по месту расположения (блок 4 на рисунке 1.27)

Схематично описание процессов мониторинга и оценки соответствия элементов ОПО представлено на рисунке 1.31.



Рисунок 1.31 – Схема процессов мониторинга и оценки соответствия элементов ОПО

В рамках диссертационного исследования введено понятие «элементы ОПО» – продукция производственно-технического назначения: основные элементы производственной инфраструктуры предприятия (технические устройства, здания и сооружения), применяемые на ОПО и обладающие признаками опасности в соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Одним из типовых элементов ОПО МП являются цеха с присутствующими на них признаками опасности, находящимися в границах опасной зоны [369]. Производственные помещения оснащены различными техническими устройствами и чаще всего ограничены пространственно от наружной окружающей среды конструкциями зданий и сооружений. Особенности зданий и сооружений на МП являются:

1) наличие одного или нескольких пролетов, позволяющих охватить пространства строительным объемом более 1 млн м³;

2) архитектурно-планировочные и конструктивные решения, соответствующие технологическим процессам (габариты производственного и подъемно-транспортного оборудования, большие высоты зданий горячих цехов в целях обеспечения усиленной аэрации и др.);

3) каркасная конструктивная система, состоящая, как правило, из поперечных рам, жестко заделанных в фундамент, продольных элементов каркаса, обеспечивающих устойчивость в продольном направлении, в отдельных случаях подстропильных конструкций, подкраново-подстропильных ферм;

4) наличие кранового оборудования грузоподъемностью до 500 т включительно, тяжелого и весьма тяжелого режимов работы;

5) наличие агрессивных воздействий на несущие и ограждающие конструкции зданий производственных цехов: температуры, динамических нагрузок, вибрации, агрессивной среды и др.

Наличие повышенных нагрузок и агрессивных воздействий на элементы ОПО предприятий металлургической отрасли способствуют повышению уровня риска возникновения аварий и инцидентов.

Таким образом, ОПО являются неотъемлемой частью промышленного предприятия, и металлургическая отрасль не является исключением. Многообразие ОПО привело к их сложно структурированной классификации, которая позволяет переносить свойства класса на каждый из объектов. Ключевыми элементами инфраструктуры МП являются технические устройства, здания и сооружения, применяемые на ОПО (элементы ОПО).

Глобальная база данных о стихийных бедствиях и техногенных катастрофах (EM-DAT) содержит сведения о возникновении и последствиях более 21000 бедствий в мире, произошедших с 1900 г. по настоящее время. EM-DAT поддерживается Центром исследований эпидемиологии бедствий (CRED) Школы общественного здравоохранения Католического университета Лувена в г. Брюссель, Бельгия. Сведения в EM-DAT разделяют бедствия на две группы: стихийные бедствия и крупные аварии с человеческими жертвами.

Под термином «авария» в EM-DAT понимается крупное неблагоприятное событие, влекущее за собой негативные последствия: разрушения, гибель людей, животных, воздействие на окружающую среду и т.п. [113]. Индустриализация экономики привела к увеличению количества аварий: неконтролируемым взрывам, выбросам опасных и взрывоопасных веществ и иных поражающих факторов.

Техногенные аварии составляют около трети (36,4%) всех зарегистрированных бедствий в EM-DAT с 1900 г. по настоящее время. Временной ряд возникновения техногенных аварий в мире за последние 30 лет представлен на рисунке 1.32 [4, 7, 25].

Анализ временного ряда, представленного на рисунке 1.32, показал, что количество техногенных аварий монотонно увеличивалось с 1980 по 2006 гг. С 2006 по 2019 гг. происходит монотонное снижение количества произошедших техногенных аварий. При этом уровень аварийности в 2019 г. в три раза превышает соответствующий уровень в 1980 г. Это объясняется увеличением производства в экономически развивающихся странах Африканского и Азиатского континента, таких как Китай, Индия, Нигерия и др.

В период с 2000 по 2019 гг. EM-DAT зарегистрировал 5143 техногенные аварии, две трети из которых (3532 аварии) зарегистрированы как транспортные (рисунок 1.33, а). Промышленные аварии составили $\approx 16\%$ от числа всех зарегистрированных техногенных аварий, при этом пострадали более 1,4 млн чел., что составило $\approx 64\%$ от общего числа пострадавших (рисунок 1.33, б).

В период 2000 – 2019 гг. в странах Азии зарегистрирована 2251 техногенная авария, в результате которых погибло 75072 человек и пострадало 986282 чело-

век. Таким образом, Азия является континентом с наибольшим количеством событий, смертей и пострадавших людей, за ней следует Африка, где зарегистрировано 1690 аварий, 54755 смертей и 419256 пострадавших. На эти два континента приходится более 75% зарегистрированных событий, 80% зарегистрированных смертей и 65% зарегистрированных пострадавших.

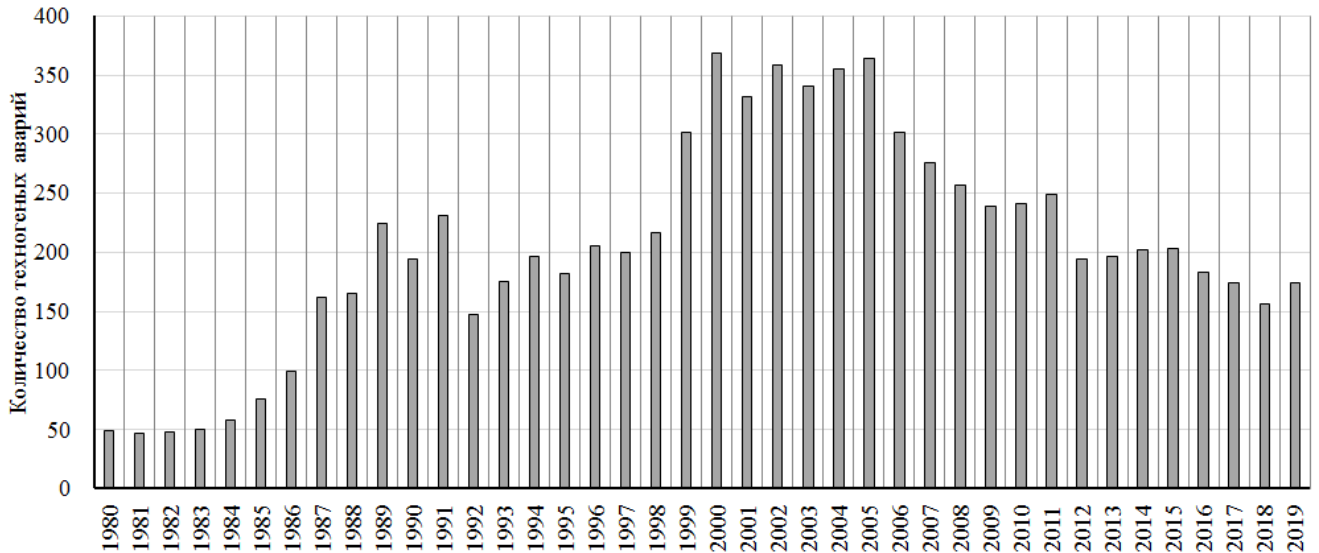


Рисунок 1.32 – Временной ряд возникновения техногенных аварий

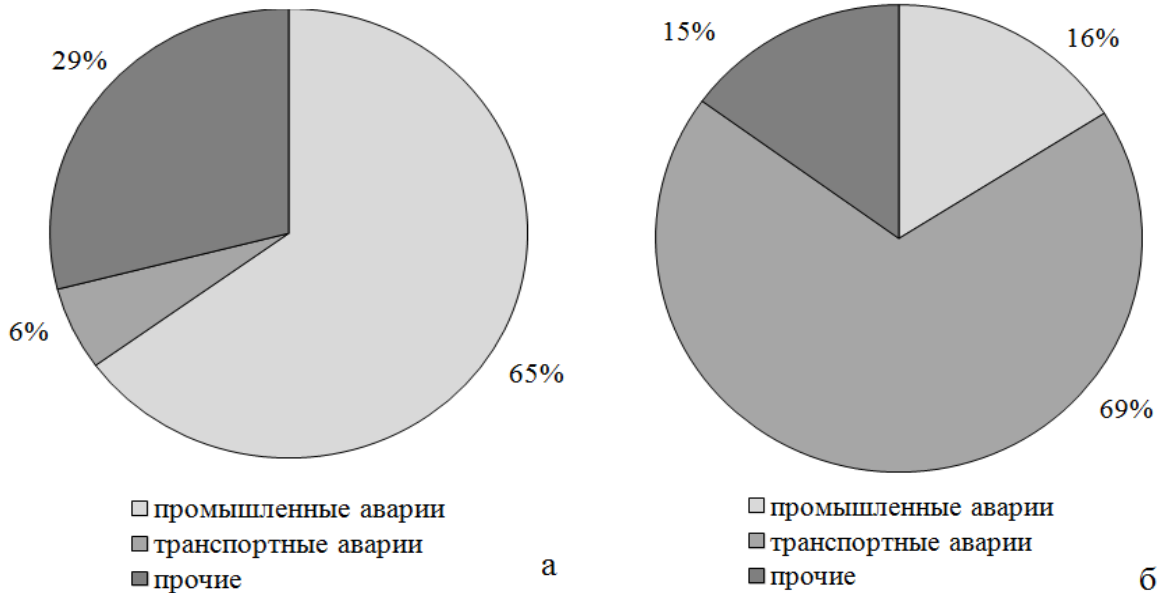


Рисунок 1.33 – Структура распределения аварий: а – виды аварий; б – общее число пострадавших по видам аварий за период с 2000 по 2019 гг.

На уровне стран, находящихся в десятке с наибольшим числом техногенных аварий в период 2000 – 2019 гг., преобладают страны с развивающейся и новой индустриальной экономикой (рисунок 1.34).

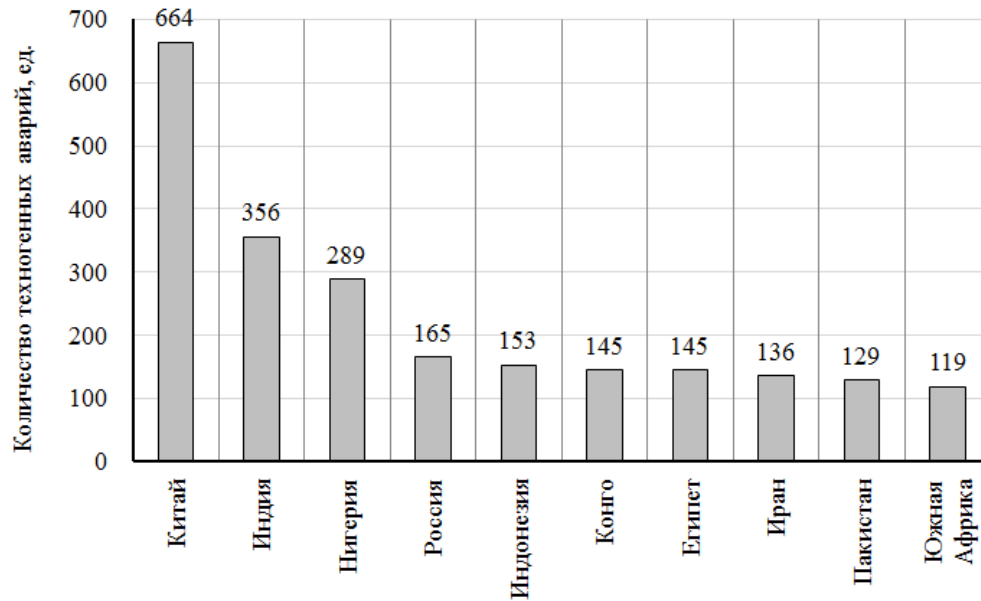


Рисунок 1.34 – Мировой перечень стран с наибольшим количеством техногенных аварий за период с 2000 по 2019 гг.

В представленном перечне Российская Федерация по количеству техногенных аварий занимает четвертое место.

Основным источником техногенных аварий являются ОПО, появление которых является неизбежным следствием развития промышленности. При этом доля персонала, работающего во вредных и опасных условиях, в Российской Федерации активно возрастала до 2014 г. и практически не изменяется за последние 5 лет (рисунок 1.35).

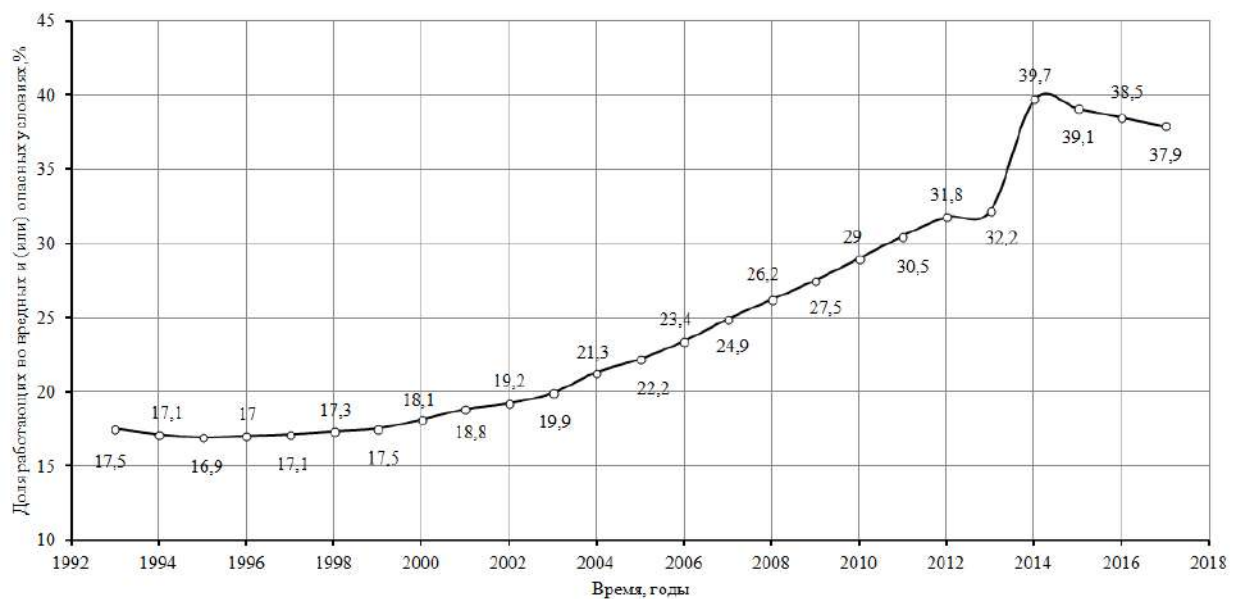


Рисунок 1.35 – Временной ряд, характеризующий динамику доли работников, работающих во вредных и опасных условиях

В Российской Федерации территориальное распределение предприятий, эксплуатирующих ОПО, является неравномерным. Это объясняется концентрацией крупных промышленных предприятий на территории Уральского федерального округа (рисунок 1.36) [83].

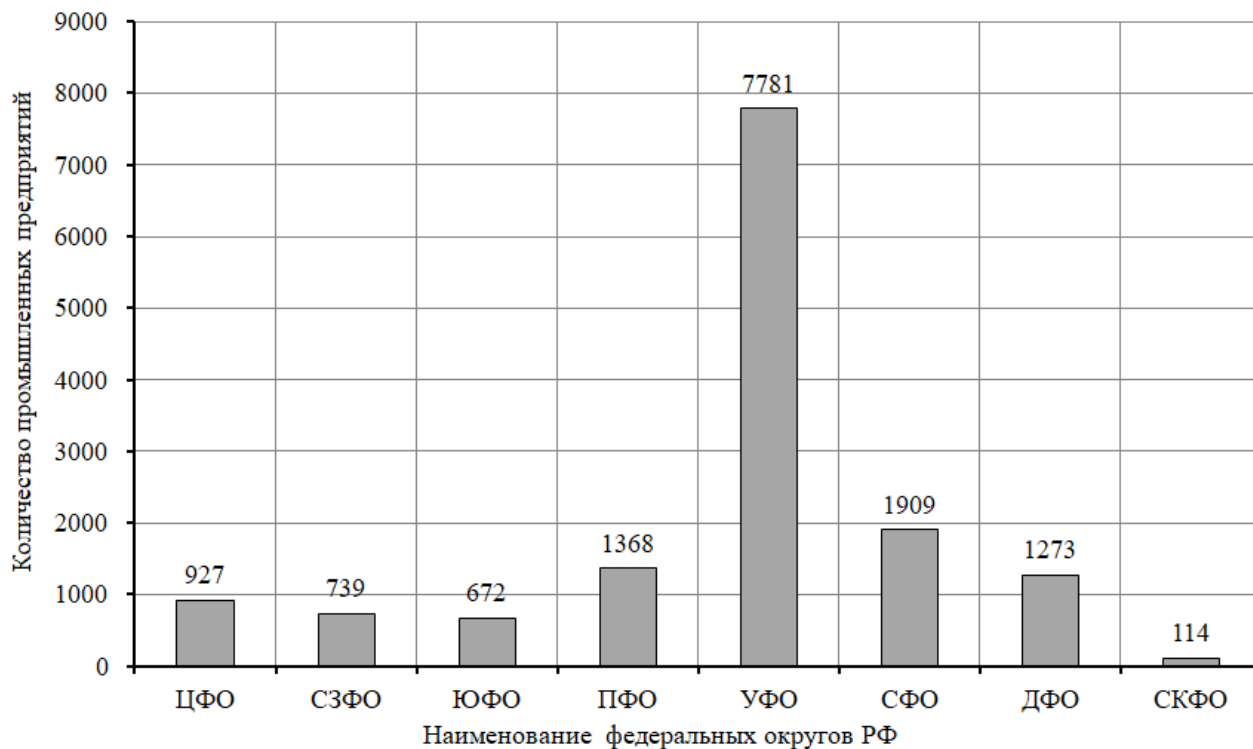


Рисунок 1.36 – Распределение предприятий, эксплуатирующих ОПО по территории Российской Федерации

На рисунке 1.36 введены обозначения: ЦФО – Центральный федеральный округ; СЗФО – Северо-Западный федеральный округ; ЮФО – Южный федеральный округ; ПФО – Приволжский федеральный округ; УФО – Уральский федеральный округ; СФО – Сибирский федеральный округ; ДФО – Дальневосточный федеральный округ; СКФО – Северо-Кавказский федеральный округ.

Нарушение требований промышленной безопасности на ОПО металлургических и коксохимических производств Российской Федерации ежегодно приводит к авариям, несчастным случаям (в том числе групповым) со смертельным исходом, тяжелым травмам (рисунок 1.37) [83].

На территории УФО успешно функционируют крупные промышленные предприятия, такие как: ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ПАО «Уралмашзавод», АО «Научно-производственная корпорация «Уралвагон-

завод» имени Ф. Э. Дзержинского», ОАО «Уралхиммаш», АО «Уралэлектротяжмаш», АО «Уральский завод гражданской авиации», ПАО «Пневмостроймашина», АО «Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э. С. Яламова», ПАО «Челябинский кузнечно-прессовый завод», АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат», ПАО «Мечел», АО «Русская медная компания», АО «Русский Алюминий», ПАО «Трубная металлургическая компания», включая дочерние организации АО «Первоуральский новотрубный завод» и ПАО «Челябинский трубопрокатный завод», ООО «УГМК-Холдинг», ООО «Златоустовский металлургический завод», АО «Челябинский электрометаллургический комбинат» и др.

Особое место в этом перечне занимает одно из крупнейших предприятий черной металлургии в Российской Федерации – ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК») [256]. ПАО «ММК» – предприятие полного металлургического цикла, в составе которого насчитывается 52 ОПО, обладающих различными признаками опасностей, для которых в плановом и экстренном порядке проводится мониторинг качества их состояния в виде экспертной оценки. Наличие опасных условий труда неизбежно приводит к ежегодному возникновению аварий и инцидентов, включая смертельный травматизм и групповые несчастные случаи [82] (рисунки 1.38, 1.39).

Статистические данные показали, что происходят периодические всплески количества аварий и инцидентов. Одним из способов предупреждения роста количества аварий и инцидентов является проведение экспертизы промышленной безопасности элементов ОПО.

В условиях ПАО «ММК» при обеспечении требований промышленной безопасности независимой экспертизе подвергаются: технические устройства, здания и сооружения, документация на техническое перевооружение, консервацию, ликвидацию, декларация промышленной безопасности, обоснование безопасности ОПО.

Сведения о количестве проведенных экспертиз, выполненных по объектам ПАО «ММК» за период с 2017 по 2021 гг., представлены на рисунке 1.40.

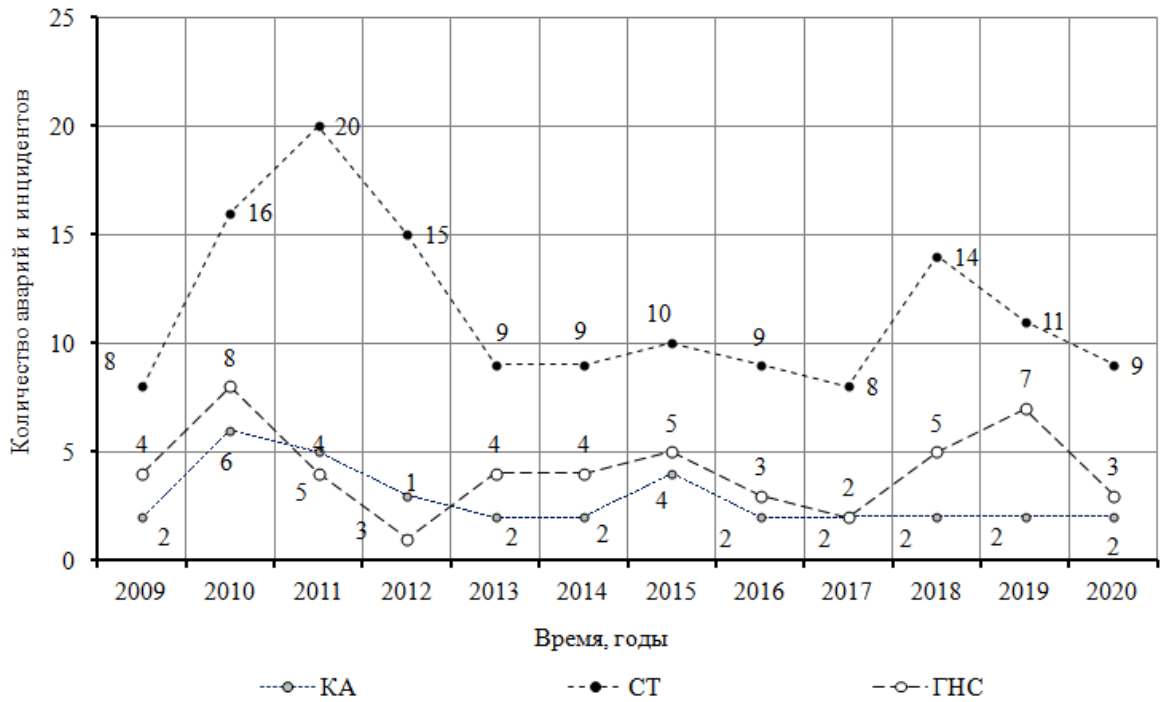


Рисунок 1.37 – Количество аварий и инцидентов, произошедших на объектах металлургических и коксохимических производств Российской Федерации

На рисунке 1.37 введены обозначения: КА – количество аварий; СТ – смертельный травматизм; ГНС – групповые несчастные случаи.

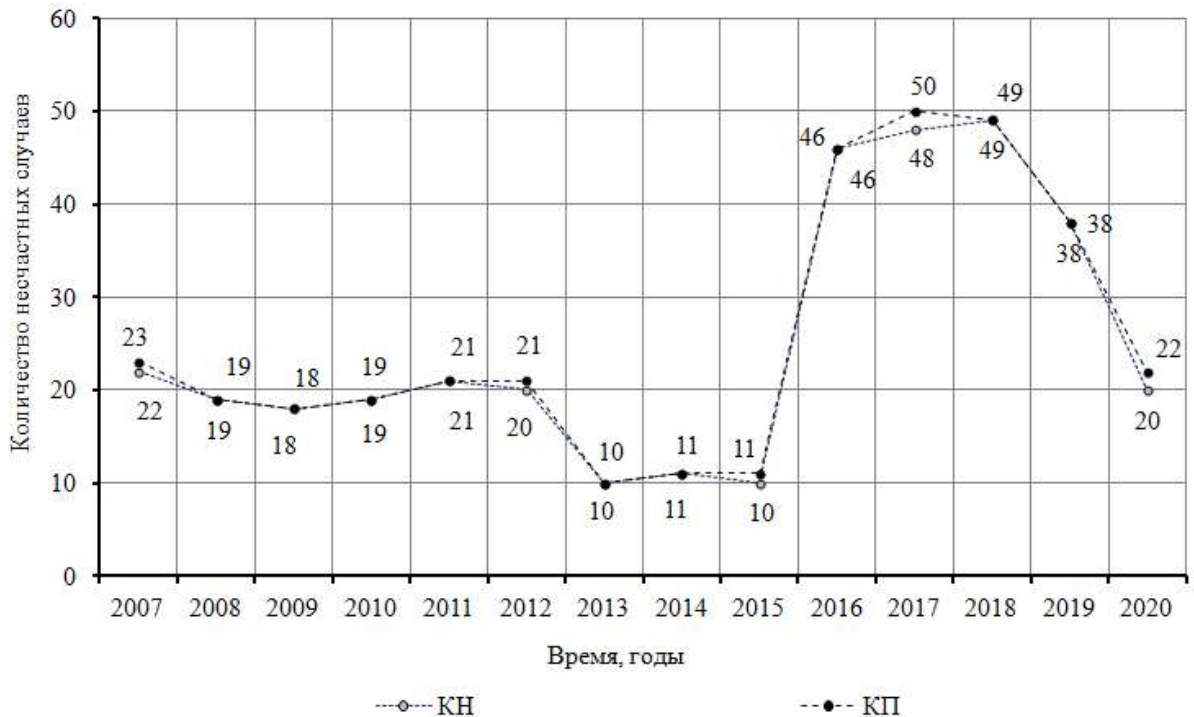


Рисунок 1.38 – Количество несчастных случаев, произошедших в условиях ПАО «ММК»: КН – общее количество несчастных случаев;

КП – общее количество пострадавших

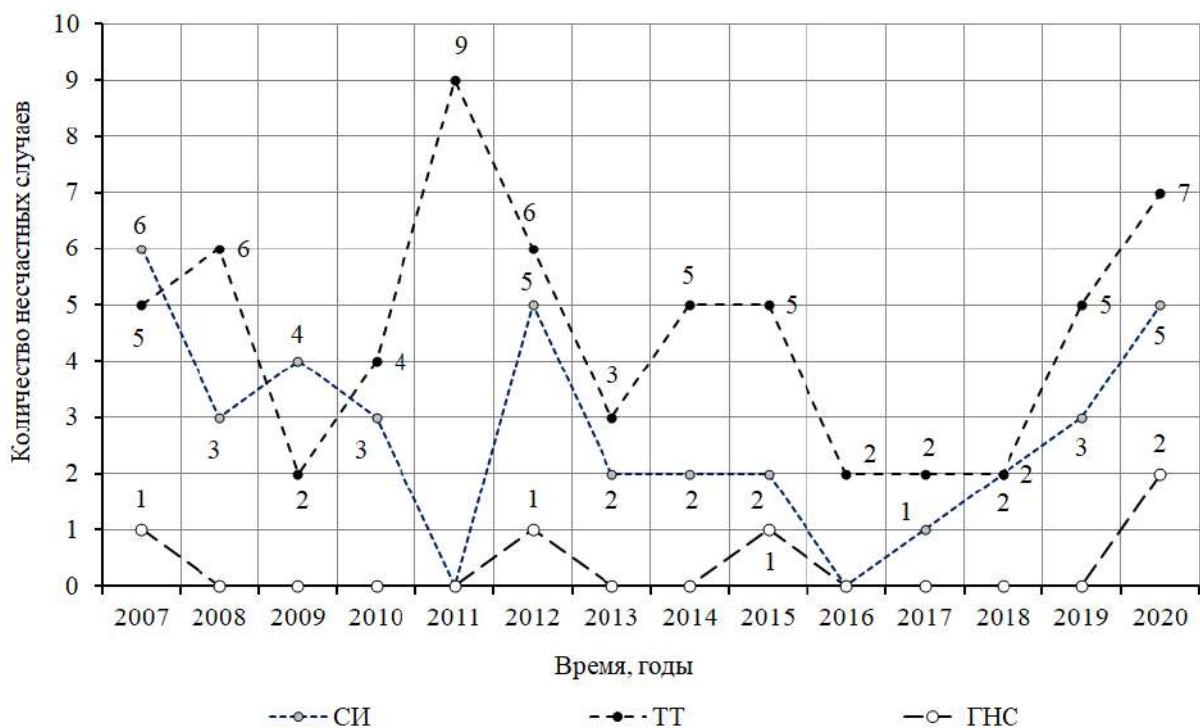


Рисунок 1.39 – Количество несчастных случаев, произошедших в условиях ПАО «ММК»: СИ – со смертельным исходом; ТТ – с тяжелыми травмами; ГНС – групповые несчастные случаи

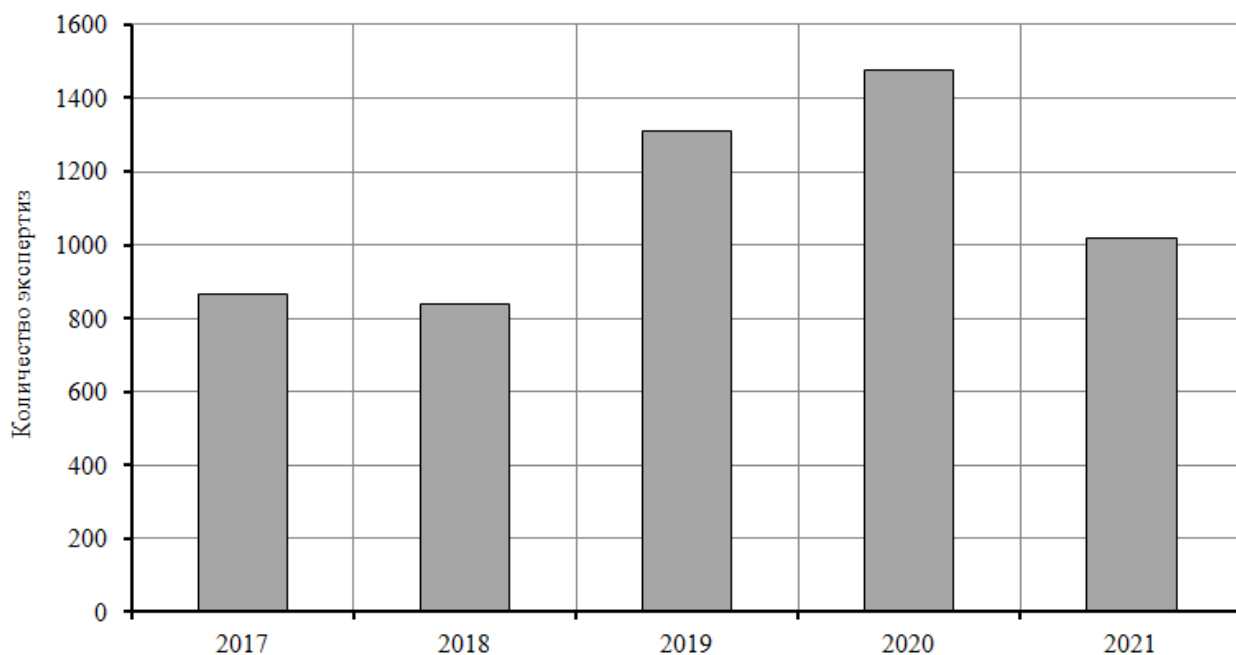


Рисунок 1.40 – Количество экспертиз промышленной безопасности, выполненных по объектам ПАО «ММК» за период с 2017 по 2021 гг.

Доля экспертиз по зданиям и сооружениям составляет от 13,2 % в 2019 г. до 31,1 % – в 2018 г. Наибольшее количество экспертиз проведено по техническим устройствам в 2019 г. и составляет 86 %.

Анализ данных по динамике появления ОПО, возникновения аварий на ОПО, высокой концентрации ОПО на территории УФО и количества выполненных экспертиз показали, что наличие развитой и обоснованной нормативной базы является необходимым, но недостаточным условием эффективного сокращения количества аварий и инцидентов на промышленном предприятии. Одним из решений в общем комплексе является привлечение новых инструментов для подготовки полной и достоверной информации для проведения экспертной оценки, сохранения информации о текущем состоянии объектов для построения системы прогнозирования динамики их качества.

1.6 Опыт применения цифровых методов мониторинга, контроля и оценки элементов опасных производственных объектов

Внедрение автоматизированных цифровых систем непрерывного мониторинга в процессы оценки элементов ОПО МП на различных этапах их жизненного цикла обусловлено необходимостью проведения оценки их состояния в режиме реального времени. Это позволяет снизить риск разрушения зданий, сооружений, технических устройств и их частей, повысить их эксплуатационную надежность и долговечность, а также спрогнозировать их переход в аварийное состояние.

Таким образом, предмет настоящего исследования находится в фокусе сразу нескольких областей научного знания: *управление качеством услуг на различных стадиях жизненного цикла* (трансформация подсистемы экспертной оценки качества функционирования элементов ОПО на стадии эксплуатации), *переход к передовым цифровым, интеллектуальным технологиям* (прикладная цифровая платформа), *квалиметрические методы оценки качества объектов* (оценка качества функционирования технических устройств, зданий и сооружений, эксплуатируемых на ОПО МП).

Ожидаемое изменение законодательства в сфере обеспечения промышленной безопасности (новая редакция ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов») предусматривало изменение требований по обеспечению безопасности ОПО. В частности, предусматривался государст-

венный мониторинг промышленной безопасности путем использования специально разработанных систем дистанционного контроля, обеспечивающих непрерывное получение, обработку и передачу в режиме реального времени информации, характеризующей риск возникновения аварий [274].

В настоящее время Правительство Российской Федерации остановило работу над проектом нового закона «О промышленной безопасности». Предлагаемые ранее новеллы предполагается внести в виде поправок в действующий Федеральный закон [301].

Решения по цифровизации методов и средств мониторинга, контроля и оценки элементов ОПО, представленные в главах диссертационной работы, предвосхищают нововведения в действующий Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [301].

Цифровизацию методов и средств мониторинга, контроля и оценки элементов ОПО можно разделить на два направления:

- разработка, внедрение и совершенствование аппаратных средств цифровизации;
- разработка, внедрение и совершенствование программных средств цифровизации.

Аппаратные средства используются для сбора необходимой информации, среди которых можно выделить получившие широкое применение БПЛА, которые эффективно используются и для задач мониторинга, контроля и оценки качества функционирования элементов ОПО.

В рамках диссертационной работы проведен патентно-информационный поиск с целью определения тенденций развития в области: исследования методов и способов облета объектов с помощью БПЛА, методов и средств контроля территорий, технических устройств, зданий и сооружений; методов и средств обработки цифровых изображений объектов.

Патентно-информационный поиск выполнен в поисковых базах данных патентной информации: Российского патентного Ведомства (РОСПАТЕНТ <http://www1.fips.ru>), Патентного Ведомства США (www.uspto.gov), Европейского

Патентного Ведомства (Espacenet, <http://ru.espacenet.com>), а также национальной информационно-аналитической системы РИНЦ, международных баз данных Scopus и Web of Science.

На основе анализа содержания отобранных по информационным базам охраняемых документов, релевантных объекту поиска, было выявлено, что в настоящее время разработки сосредоточены преимущественно в области различных конструктивных особенностей БПЛА, предназначенных для мониторинга и охраны транспортных сетей топливно-энергетического комплекса, патрулирования транспортных магистралей, лесных массивов и охраняемых территорий, для наблюдения за погодными условиями, в разведывательных целях и для аэрофото-съемок. Также существуют разработки в области повышении эффективности управления БПЛА и уровня безопасности выполнения полетов в воздушном пространстве путем использования новых информационных технологий сбора, обработки и передачи данных.

При оценке состояния территорий, зданий и сооружений и их частей, технических устройств в последнее десятилетие начали активно применяться новые технологии, основанные на информации, полученной с помощью лазерного сканирования и БПЛА [131, 134, 173, 174, 176, 268, 354].

Настоящий уровень интеллектуализации состоит в привлечении экспертов для оценки состояния объектов (территории, зданий, сооружений и их частей, технических устройств) на ОПО в России и за рубежом. Разрабатываемая ПЦП позволит повысить уровень интеллектуализации на основе применения программного обеспечения, построенного с использованием мягких вычислений для информации, полученной с использованием БПЛА.

Проанализированы публикации в данной предметной области с глубиной поиска 15 лет. Установлено, что применение беспилотной авиации уже в очень скором будущем займет лидирующие позиции в оборонной промышленности, в сфере обеспечения безопасности, в сфере здравоохранения и в других сферах.

Определен ряд факторов, сдерживающих развитие применения БПЛА, основные из которых:

1. Несовершенство нормативно-правовой базы, регулирующей деятельность применения БПЛА. В действующих обязательных стандартах [273] и добровольных стандартах [277] отсутствуют указания о проведении визуального обследования с использованием летательных аппаратов. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности [368] информацию о применении БПЛА также не содержат.

2. Отсутствие сертифицированных методик измерений, основанных на использовании цифровых изображений с БПЛА.

На основе анализа содержания материалов, отобранных по информационным базам, выявлено, что в настоящее время разработки сосредоточены преимущественно в области различных конструктивных особенностей БПЛА (создание новых моделей БПЛА, схем шасси для винтокрылых БПЛА, навигационного оборудования, систем стабилизации, определения координат БПЛА), обеспечение информационной безопасности каналов управления БПЛА, противодействия БПЛА, защиты БПЛА от внешних программно-аппаратных воздействий и предназначенных преимущественно для решения задач МЧС (катастрофы, пожары, контроль ледовых заторов и паводковой обстановки, экологический мониторинг водных поверхностей, поиск пострадавших), мониторинга и охраны транспортных сетей топливно-энергетического комплекса, патрулирования транспортных магистралей, лесных массивов и охраняемых территорий, для наблюдения за погодными условиями, в разведывательных целях и для аэрофотосъемок.

При относительно богатом опыте обследования горизонтальных поверхностей фронтальному обследованию объектов уделено значительно меньше внимания.

Вопросы применения БПЛА в целях мониторинга, контроля и оценки элементов ОПО, а также комплексного обеспечения безопасной эксплуатации элементов ОПО в должной мере не рассматриваются.

Программные средства предполагают применение специализированных программных средств и цифровых платформ для создания цифровых моделей и

цифровых двойников, позволяющих на основе достоверных данных решать задачи мониторинга, контроля и оценки элементов ОПО.

Отдельной задачей применения программных средств является обработка графической информации. Установлено, что методам обработки графической информации уделяется достаточно большое внимание. Из анализа публикаций, включенных в российскую базу данных РИНЦ, выявлено, что исследуются и разрабатываются различные способы обработки графической информации в части обнаружения и локализации текста, обнаружения движения объектов, обнаружения очагов горения, распознавания дорожных знаков, распознавания лиц, систем слежения за людскими потоками (включая расчет количества посетителей), распознавания регистрационных номеров автотранспорта, распознавания пешеходов на проезжей части, распознавания форм, распознавания границ изображений, контроля качества технологических параметров изделий, автоматизированной обработки изображений при использовании неразрушающих методов контроля, контроля дефектов кирпичей,двигающихся по ленте конвейера и т.п.

Из анализа публикаций, включенных в международные базы данных Scopus и Web of Science, выявлено, что исследуются и разрабатываются различные способы обработки графической информации для целей: обнаружения возможных препятствий и людей на проезжей части, контроля и оценки урожайности, обнаружения препятствий и оценки расстояний на железных дорогах, обнаружения трещин в бетоне, трещин на проезжей части, неразрушающего контроля пищевых продуктов (куриных яиц, риса), контроля трубопроводов, определения трещин в кирпичных стенах, трещин в мостовых сооружениях и тоннелях, дефектах металлических листов и т.п. Следует отметить, что рассмотрены лишь вопросы обнаружения отдельных дефектов (например, трещин).

Использование стандартных алгоритмов и библиотек не позволяет в реальных условиях эксплуатации ОПО успешно обнаруживать дефекты и повреждения.

Таким образом, проведенный анализ показал, что БПЛА используются для обследования широкого класса объектов, при этом вопросы фронтального обследования элементов ОПО рассмотрены недостаточно подробно.

1.7 Цель и задачи диссертационного исследования

Проведенный анализ опыта создания и использования СМК на ведущих промышленных предприятиях РФ позволил определить объект, предмет, цель и задачи диссертационного исследования.

Объектом исследования является СМК МП, эксплуатирующего ОПО.

Предмет исследования – методология и инструментарий создания и функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО.

Целью диссертационного исследования является совершенствование СМК МП, эксплуатирующего ОПО, для обеспечения результативности функционирования процессов управления.

Для достижения цели поставлены **задачи**:

1. Выполнить системный анализ проблемы управления качеством на МП, подходов к созданию и функционированию СМК, учитывающих отраслевые особенности ОПО на основе современных трендов цифровизации.

2. Разработать и реализовать методологию и инструментарий создания и функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО.

3. Разработать комплексный инструментарий для мониторинга, оценки и повышения качества функционирования элементов ОПО МП на основе трехуровневого метода интегративной оценки качества.

4. Спроектировать и реализовать цифровой инструментарий для мониторинга, оценки и повышения качества функционирования элементов ОПО МП на основе прикладной цифровой платформы.

5. Выполнить опробование разработанной методологии и инструментария по созданию и функционированию СМК МП, эксплуатирующего ОПО.

Таким образом, исходя из результатов проведенных исследований, а также определения цели и задач диссертационной работы, на следующем этапе требуется разработка методологии и инструментария для результативного функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО, включая решение комплекса задач, направленных на наполнение разработанной методологии соответствующим научно-прикладным инструментарием.

1.8 Выводы по главе 1

1. По результатам исследования СМК промышленных предприятий определена важная отраслевая проблема, связанная с необходимостью обеспечения опережающего развития СМК функционирования ОПО, на основе применения передового инструментария управления, информатизации и цифровизации. Установлено, что комплексное развитие процессов СМК, связанных с управлением охраной труда и промышленной безопасностью, а также соответствующее развитие инструментальной базы управления способно обеспечить опережающее развитие системы менеджмента промышленных предприятий, как важнейшего компонента – обеспечение промышленной безопасности.

2. Определены основные термины, используемые в диссертационном исследовании, и их определения на основе действующей нормативной и технической документации. В рамках диссертационного исследования введено понятие «элементы ОПО». Предлагаемые термины не являются противоречивыми.

3. Выявлено, что до настоящего времени в теории и практике управления качеством не рассматривалась проблема, связанная с влиянием функционирования элементов ОПО на качество продукции и обеспечение стабильности функционирования, результативности и эффективности СМК. Современное состояние науки и практики управления качеством предполагает триединство управления объектами: управление качеством продукции; управление качеством процессов организации, влияющее на качество продукции; управление СМК. Доказано, что для обеспечения выполнения требований всех заинтересованных сторон, включая требования к качеству продукции потребителей, а также обеспечения результативности и эффективности, современные СМК должны основываться на моделях, учитывающих отраслевую специфику, в частности особенности эксплуатации ОПО.

4. Разработана контекстная модель СМК с учетом отраслевых особенностей МП, содержащая 12 блоков факторов и 107 единичных элементов и определяющая дальнейшие направления исследований. Модель включает два вида факторов влияния на развитие СМК – внешние и внутренние. В представленной модели

выделено расширение СМК для учета отраслевых особенностей предприятия, эксплуатирующих ОПО.

5. Анализ подходов к созданию и развитию СМК предприятий, эксплуатирующих ОПО, показал, что элементы ОПО рассматриваются как компоненты обеспечивающего процесса управления инфраструктурой, влияющей на выпуск качественной продукции, и не могут не учитываться при создании и обеспечении результативного функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО.

6. Определено, что современные модели СМК на ведущих производственных предприятиях не содержат процессную составляющую управления элементами ОПО. Этот факт негативно влияет на функционирование, результативность и эффективность СМК предприятия.

7. Установлено, что комплексное развитие цифровизации предприятия предполагает создание и совершенствование цифрового инструментария с целью обеспечения опережающего развития СМК функционирования ОПО. Предложена информационная модель процесса экспертизы текущего технического состояния элементов ОПО и предпосылки ее развития с учетом цифровизации процессов управления качеством – основного драйвера научно-технического прогресса.

8. Проведенный анализ состояния методологической основы по экспертизе элементов ОПО показал, что, несмотря на наличие устойчивой нормативной базы, существует ее отставание от новых информационных технологий. Несоответствующее состояние СМК аналитическим возможностям на основе новых количественных интегративных показателей качества требуют внедрения их в систему экспертизы и производственного контроля на МП.

9. Опыт применения цифровых методов мониторинга, контроля и оценки показал высокую эффективность применения БПЛА для сбора информации при обследовании широкого класса объектов. Особого внимания заслуживают вопросы фронтального обследования элементов ОПО, ответы на которые рассмотрены недостаточно подробно до настоящего времени. Необходимо проведение отдельных исследований, связанных с определением математической модели траектории движения аппаратных средств мониторинга (БПЛА) при обследовании элементов

ОПО, а также средств обработки получаемой графической информации (разработка комплекса программных модулей для оценки состояния и динамики качества элементов ОПО с использованием инструментов ПЦП).

2 МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ ОПАСНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ

2.1 Модель методологии разработки и внедрения системы менеджмента качества на металлургических предприятиях, эксплуатирующих опасные производственные объекты

В первой главе диссертационного исследования установлено, что на МП, эксплуатирующих ОПО, для выпуска качественной продукции, удовлетворяющей требованиям потребителей, должна функционировать СМК, в состав которой входят элементы управления инфраструктурой. СМК должна учитывать специфику ОПО, а также отраслевую специфику, в частности специфику металлургической отрасли. На сегодняшний день отсутствуют известные методологические подходы по созданию СМК МП, эксплуатирующего ОПО.

В диссертационной работе представлена методология разработки и внедрения СМК МП, эксплуатирующего ОПО. Методология представляет собой совокупность моделей, правил, методов и методик управления качеством, объединенных системными принципами в СМК, учитывающих специфику ОПО и позволяющих обеспечивать повышение качества выпускаемой продукции.

СМК МП, эксплуатирующего ОПО, представляет собой совокупность организационно-управленческих, технологических правил и процедур планирования, обеспечения и повышения качества выпускаемой продукции, технических и аппаратных средств мониторинга, анализа и оценки качества производимой продукции, результативности функционирования СМК, включая оценку качества и оценку результативности функционирования элементов ОПО.

Описание методологии выполнено в виде структурной модели методологии разработки и внедрения СМК, описывающей два уровня: верхний уровень «Создание СМК МП, эксплуатирующего ОПО»; второй уровень «Обеспечение результативности функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО».

Структурная модель методологии разработки и внедрения СМК МП, эксплуатирующего ОПО, приведена на рисунке 2.1.

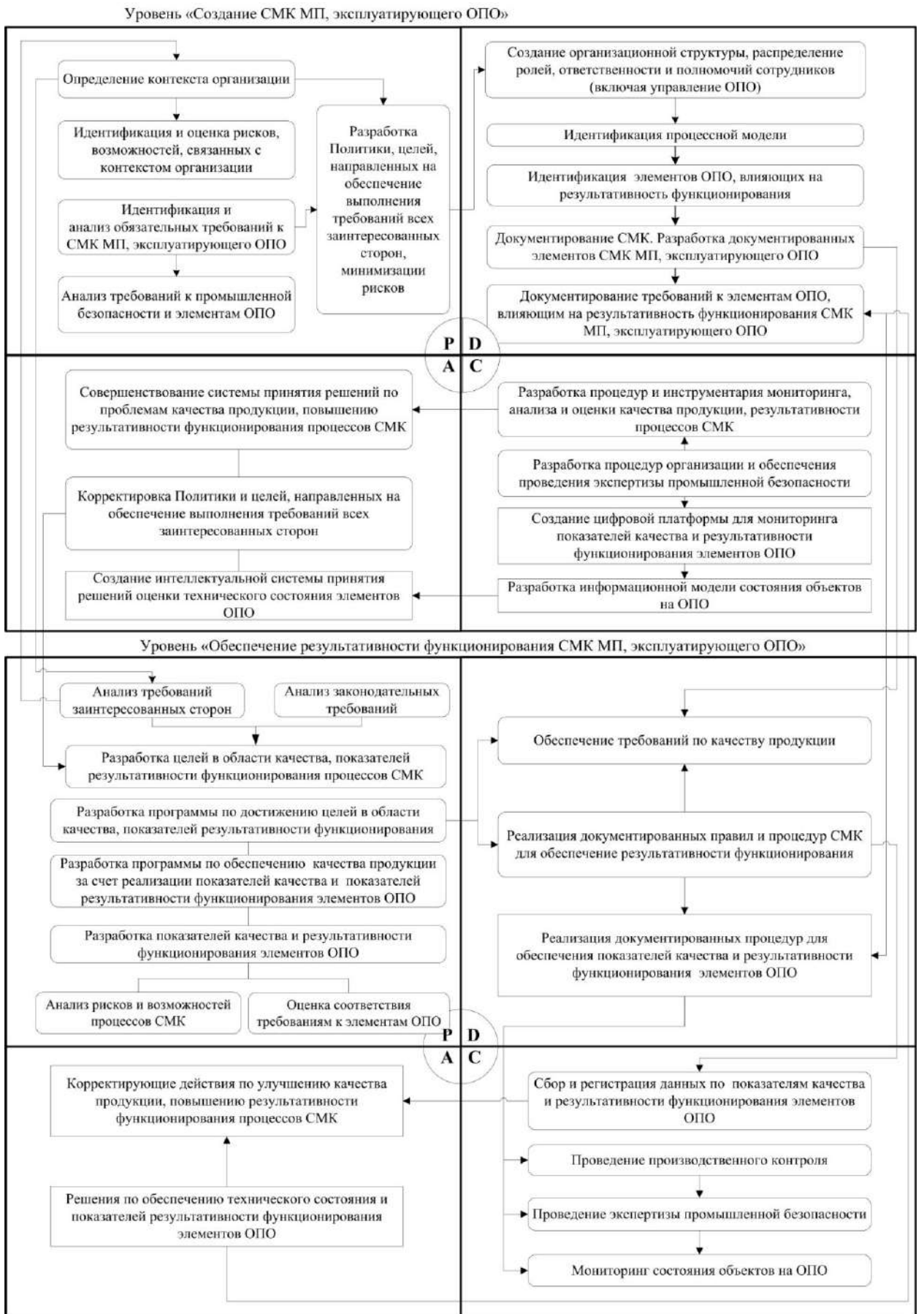


Рисунок 2.1 – Структурная модель методологии разработки и внедрения СМК МП, эксплуатирующего ОПО

Первый (верхний) уровень методологии разработки и внедрения СМК МП, эксплуатирующего ОПО, основывается на цикле PDCA и описывает элементы создания СМК, учитывающие требования всех заинтересованных сторон, в том числе законодательные требования к ОПО, внедрение в деятельность организации, организацию процессов мониторинга, анализа и оценки результативности функционирования СМК, включая мониторинг, анализ и оценку целей в области качества продукции, показателей результативности функционирования, показателей качества и результативности функционирования элементов ОПО.

Второй (нижний) уровень методологии разработки и внедрения СМК МП, эксплуатирующего ОПО, также основывается на цикле PDCA и описывает элементы организации функционирования СМК, включая планирование, реализацию, мониторинг, анализ и оценку результативности функционирования, улучшения.

Результативность и эффективность процессов СМК предприятия достигается на основе синтеза СМК, построенной с использованием методологии и инструментария управления качеством, включающим мониторинг, контроль и оценку элементов ОПО.

Методология построения СМК МП разбивается на две части:

- 1) применение научно обоснованных методов и методик, алгоритмов, процессов и процедур создания СМК МП, эксплуатирующего ОПО;
- 2) применение научно обоснованных методов и методик, алгоритмов, процессов и процедур обеспечения функционирования, результативности и эффективности и совершенствование СМК МП, эксплуатирующего ОПО.

Каждая из частей направлена на эффективное достижение единой цели – обеспечения результативности функционирования СМК и ее процессов, обе части функционируют неразрывно.

Методология разработки и внедрения СМК МП, эксплуатирующего ОПО, интегрирована в модель СМК МП и представлена на рисунке 2.2. Цифрами в скобках обозначены ссылки на разделы стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования».

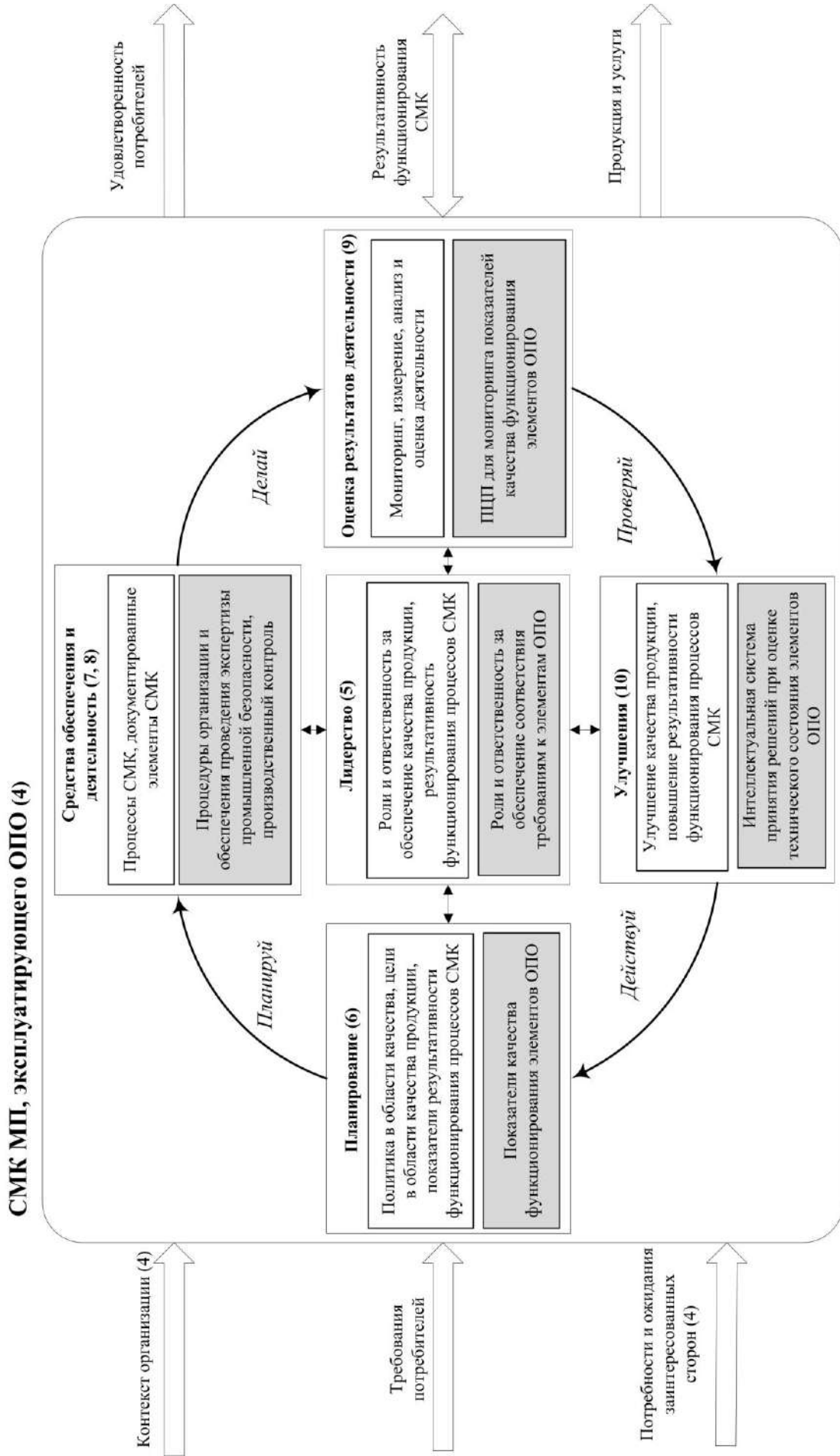


Рисунок 2.2 – Модель СМК МП, эксплуатирующего ОПО

Это позволило использовать разработанную методологию при внедрении и организационном развитии СМК МП, эксплуатирующего ОПО, для обеспечения качества выпускаемой продукции, повышения результативности функционирования СМК, а также обеспечения соответствия элементов ОПО требованиям федерального законодательства.

Выделено пять основных этапов для повышения результативности функционирования элементов ОПО, среди которых:

1. Анализ характеристик и требований к эксплуатации элементов ОПО.
2. Анализ действующих процедур оценки качества элементов ОПО.
3. Формирование структуры СМК МП, эксплуатирующего ОПО, на основе проведения экспертизы.
4. Формирование базовых и цифровых показателей качества элементов ОПО.
5. Гармонизация базовых и цифровых показателей качества элементов ОПО.

Первые два этапа базируются на исследовании и результатах анализа нормативных и технических документов СМК МП – индустриального партнера, обеспечивающих требования и функции к элементам ОПО как инфраструктуры основного производства на МП. Особенностью металлургического производства является его многостадийность [2, 184, 190].

2.2 Процессная модель системы управления качеством на металлургических предприятиях, эксплуатирующих опасные производственные объекты

В настоящее время для условий крупного МП выстраивается процессная модель управления качеством. Как правило, такие модели являются иерархическими и подлежат ежегодному обновлению.

В работе [190] определена укрупненная схема многостадийного металлургического производства (рисунок 2.3).

От поставщиков материалов, сырья и ресурсов передаются материалы для всех основных переделов предприятия (1). От подготовительного производства передаются шихтовые материалы для выплавки стали (2). Полупродукт (непрерывнолитая заготовка) передается как прокатному переделу (3), так и внешним потребителям в различные страны (5). В службы контроля одновременно переда-

ются технологические пробы химического состава и образцы для контроля качества (4). Цеха листопрокатного передела также передают готовую продукцию потребителям (7) и образцы для контроля качества в службу контроля (6).



Рисунок 2.3 – Укрупненная схема материальных и информационных потоков при многостадийном производстве ПАО «ММК»

Все указанные материальные потоки сопровождаются экономической или технологической информацией: 1 – информация о требованиях к заказу на производство металлопродукции; 2 – нормы расходных материалов на производство продукции; 3 – технологические инструкции о ведении металлургических процессов; 4 – информация о нормах расхода материалов и о требованиях к технологии производства; 5 – информации о качестве шихтовых материалов для выплавки стали; 6 – информация о марке стали и технологических режимах производства; 7, 8 – информация о качестве готовой продукции; 9 – информация о выполнении заказов на производство продукции [190].

Каждая группа в цепочке металлургического передела имеет также сложную структуру, включающую производственные участки. Инфраструктурными элементами в такой многостадийной цепочке выступают все элементы ОПО: технические устройства (машины, технологическое оборудование, их системы, агре-

гаты, механизмы и пр.), здания и сооружения. Нарушения требований к качеству элементов ОПО приводит к остановке производства на одном из этапов, что является критичным для передачи материальных потоков между стадиями и приводит к остановке всей производственной цепочки МП, несмотря на наличие нескольких агрегатов одного типа.

Например, остановка производства в электросталеплавильном цехе по причине нарушения требований промышленной безопасности (здания цеха не соответствуют требованиям промышленной безопасности и не может быть применено при эксплуатации ОПО вследствие чрезмерных вертикальных прогибов несущих конструкций покрытия, вызванных перегрузкой конструкций) приведет к остановке производства непрерывнолитой заготовки квадратного сечения и, как следствие, остановке работы сортового цеха. Суточный простой цеха принесет убыток предприятия в ≈ 72 млн руб. без учета простоя зависимых производств.

Этап «Формирование структуры СМК элементов ОПО» определен требованиями обеспечения непрерывного цикла технологических цепочек. Структура СМК элементов ОПО строится на основе принятой процессной модели производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на предприятии. Однако в настоящее время выдвигаются новые требования к информации, на которой строятся экспертные системы оценки качества. Эти требования определили необходимость введения новых цифровых показателей и квалиметрических оценок качества элементов ОПО, приводя к реализации четвертого этапа «Формирование традиционных и цифровых экспертных оценок качества элементов ОПО».

Для исключения противоречивой оценки качества элементов ОПО при подготовке результатов экспертизы возникла необходимость в выполнении гармонизации оценок, полученных при традиционной и новой цифровой технологии. Выполнение новых требований к экспертной информации о качестве элементов ОПО привело к проектированию и реализации новых инструментальных средств ПЦП.

Таким образом, пять шагов повышения эффективности эксплуатации элементов ОПО привели к разработке:

- методологической основы СМК МП, эксплуатирующего ОПО;
- инструментария СМК МП, эксплуатирующего ОПО.

Методологические основы СМК МП, эксплуатирующего ОПО, позволили заложить в нее научно обоснованный смысл:

- выбор концепции экспериментальных исследований для выявления особенностей развития дефектов и повреждений элементов ОПО;
- определение принципа отображения значений показателей качества элементов ОПО в системе экспертных оценок;
- выбор базовых и цифровых показателей качества и их оценок для элементов ОПО;
- разработка алгоритма гармонизации результатов экспертизы на основе базовых и цифровых показателей качества и их оценок для элементов ОПО.

Инструментальной основой системы управления качеством на ОПО МП явилась разработка ПЦП, особенностью которой стало введение в состав аппаратного обеспечения специальных технических средств, включая БПЛА, для фронтального обследования поверхности элементов ОПО. Введение нового инструмента потребовало создания методик его эксплуатации, синтеза специального математического и программного обеспечения, расширяющего функции системы управления качеством ОПО. Инструментарий ПЦП (технические средства сбора информации нового типа и комплексное программное обеспечение) позволили сформировать цифровые тени для элементов ОПО как элементов инфраструктуры основного производства МП.

Наличие методологической и новой инструментальной основы для системы управления качеством на МП, эксплуатирующем ОПО, определили трансформацию действующей системы экспертизы и производственного контроля для повышения результативности подсистемы экспертной оценки качества. Трансформация направлена на устранение рассогласования между ее функциями в старых и новых условиях, в частности на изменение компетенций персонала, технического парка и структуры рабочего места персонала.

Таким образом, учитывая процессный подход к формированию СМК на МП, получено подтверждение научных основ классической школы управления качеством, включающей планирование (организация технологических цепочек многостадийного металлургического производства), организацию (трансформация экспертной оценки качества в системе экспертизы и производственного контроля), мотивацию (повышение качества элементов ОПО, обеспечивающих инфраструктурные функции предприятия), контроль (своевременную периодическую внутреннюю и внешнюю экспертизу качества элементов ОПО).

Наиболее важные блоки процессной модели закреплены за первыми руководителями предприятия. Для процессной модели СМК МП, эксплуатирующего ОПО, приведенной на рисунке 2.4, к наиболее важным процессам отнесены: управление организацией в части СМК; управление промышленной безопасностью.

Каждый из процессов системы направлен на реализацию конкретных пунктов ГОСТ Р ИСО 9001 [111]. Для блока управления промышленной безопасностью и охраны труда определены пункты:

– 5: лидерство, определяющее: лидерство и приверженность; политику; функции, ответственность полномочия в организации;

– 7.1.3: инфраструктура, в части создания и поддержания инфраструктуры (в т.ч. оборудования, зданий и сооружений), необходимой для функционирования ее процессов с целью достижения соответствия продукции и услуг;

– 7.1.5: ресурсы для мониторинга и измерения, согласно которому организация должна определить и предоставить ресурсы, необходимые для обеспечения имеющих законную силу и надежность результатов в тех случаях, когда мониторинг и измерения используются для подтверждения соответствия продукции и услуг требованиям;

– 8.4: управление процессами, продукцией и услугами, поставляемыми внешними поставщиками.

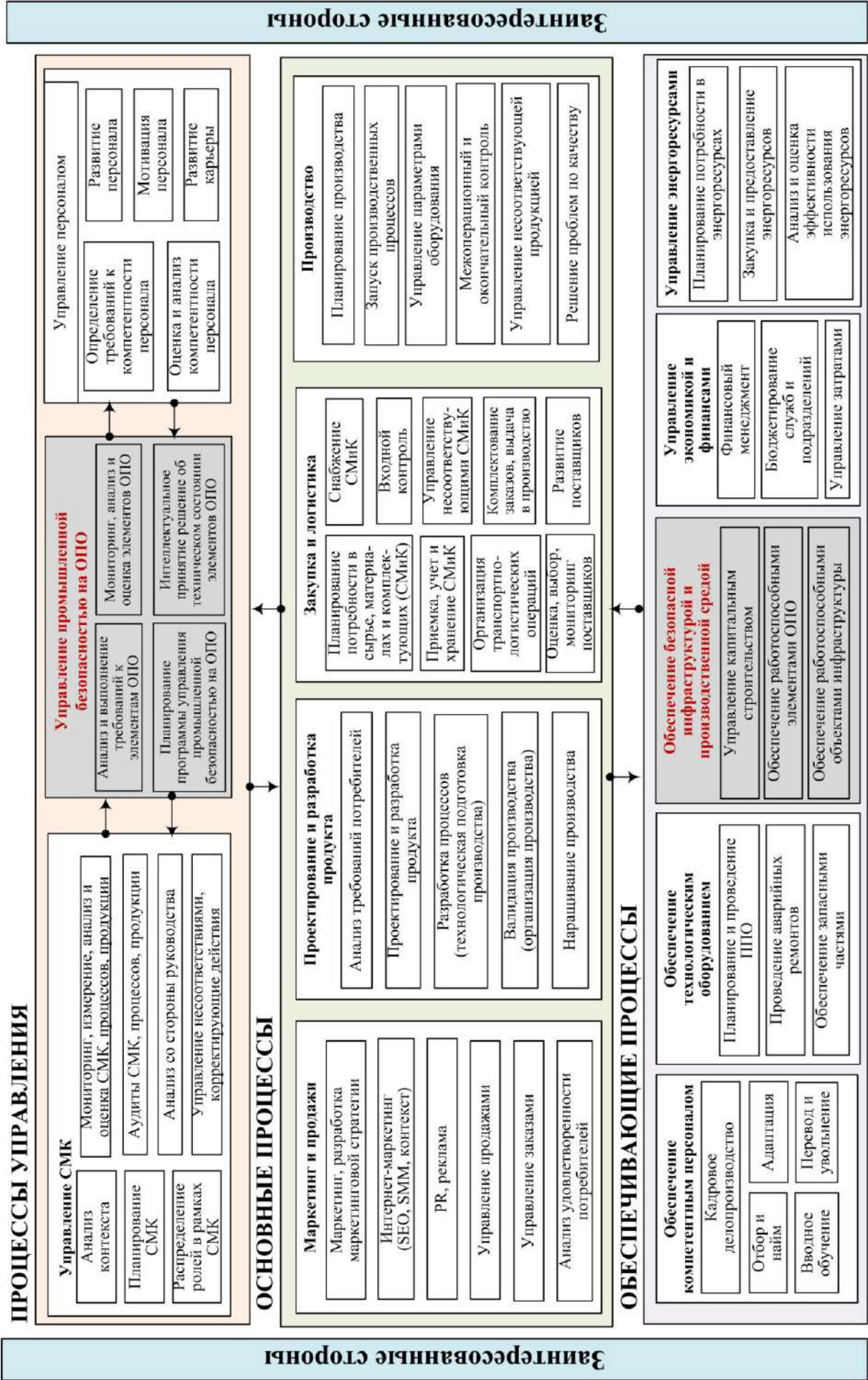


Рисунок 2.4 – Процессная модель СМК МП, эксплуатирующего ОПО

На рисунке 2.4 дополнительно введено обозначение: ППО – планово-профилактическое обслуживание.

Согласно п. 8.4 ГОСТ Р ИСО 9001 [111] организация должна обеспечить соответствие процессов, продукции и услуг, поставляемых внешними поставщиками, требованиям.

Организация должна определять средства управления, применимые для процессов, продукции и услуг, поставляемых внешними поставщиками, в тех случаях, когда:

- а) продукция и услуги от внешних поставщиков предназначены для включения их в состав продукции и услуг, предлагаемых самой организацией;
- б) продукция и услуги поставляются внешними поставщиками напрямую потребителю от имени организации;
- в) процесс или его часть выполняется внешним поставщиком в результате принятия решения организацией.

Организация должна определить и применять критерии оценки, выбора, мониторинга результатов деятельности, а также повторной оценки внешних поставщиков, исходя из их способности выполнять процессы или поставлять продукцию и услуги в соответствии с требованиями. Организация должна регистрировать и сохранять документированную информацию об этих действиях и о любых необходимых действиях, вытекающих из оценок.

Организация должна обеспечить, чтобы процессы, продукция и услуги, поставляемые внешними поставщиками, не оказывали негативного влияния на способность организации постоянно поставлять своим потребителям соответствующую продукцию и услуги.

Организация должна:

- а) обеспечивать, чтобы процессы, поставляемые внешними поставщиками, находились под управлением ее СМК;
- б) определять средства управления, планируемые к применению, как в отношении внешнего поставщика, так и к поставляемым им результатам;
- в) учитывать:

– возможное влияние процессов, продукции и услуг, поставляемых внешними поставщиками, на способность организации постоянно обеспечивать соответствие требованиям потребителей, законодательным, нормативным и правовым требованиям;

– результативность средств управления, применяемых внешним поставщиком;

в) определять верификацию или другие действия, необходимые для обеспечения соответствия процессов, продукции и услуг, поставляемых внешними поставщиками, требованиям.

Организация должна сообщать внешним поставщикам свои требования, относящиеся к:

а) поставляемым процессам, продукции и услугам;

б) одобрению: продукции и услуг, методов процессов и оборудования, выпуска продукции и услуг;

в) компетентности персонала, включая любые требуемые меры подтверждения квалификации;

г) взаимодействию внешнего поставщика с организацией;

д) применяемым организацией управлению и мониторингу результатов деятельности внешнего поставщика;

е) деятельности по верификации или валидации, которые организация или ее потребитель планируют осуществлять на месте у внешнего поставщика.

Одним из видов процессов п. 16 «Управления промышленной безопасности и охраны труда» является «Обеспечение организации и проведение экспертиз промышленной безопасности». Экспертизы промышленной безопасности проводятся лицензированными экспертными организациями, основываясь на принципах независимости, объективности и др.

Несмотря на указанные условия, остается актуальной задача построения и использования цикла PDCA («Планируй – Делай – Проверь – Действуй») при условии, что процесс понимается как «совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих видов деятельности, преобразующих входы в выходы».

На рисунке 2.5 приведена схема цикла PDCA для процесса экспертизы промышленной безопасности элементов ОПО.



Рисунок 2.5 – Схема цикла PDCA для процесса экспертизы промышленной безопасности элементов ОПО

На рисунке 2.5 введены обозначения, приведенные в таблице 2.1.

На рисунке 2.5 представлена схема процесса проведения экспертизы промышленной безопасности элементов ОПО, построенная на основе требований п. 0.3.1 ИСО 9001 [111]. Схема иллюстрирует взаимосвязь основных элементов процесса экспертизы:

- предыдущие процессы;
- исходную информацию в форме требований к объектам инфраструктуры (элементы ОПО);
- выходную информацию в форме услуги, решения;
- последующие процессы.

Контрольные точки начала и окончания необходимы для мониторинга выполнения и управления процессом экспертизы.

Таблица 2.1 – Перечень обозначений для схемы цикла PCDA на рисунке 2.5

Обозначение	Описание
1	Планирование экспертизы осуществляется исходя из требований Федеральных норм и правил [368], предписаний контролирующих органов или желания организации, эксплуатирующей ОПО
2	Особенностью проведения экспертизы элементов ОПО является высокий уровень репутационной составляющей как для экспертной организации, так и для МП. Согласно требованиям [368] допускается подписание заключения экспертизы промышленной безопасности одним экспертом, аттестованным в определенной области аттестации. Поэтому устанавливать традиционными методами компетентность и согласованность группы экспертов не имеет смысла
3	Результатом проведения экспертизы является заключение в письменной или электронной форме, подписанное руководителем экспертной организации и экспертом (экспертами), участвовавшим (участвовавшими) в проведении экспертизы
4	Указываются мероприятия, компенсирующие несоответствия, после проведения которых или при выполнении которых в процессе применения технические устройства, здания, сооружения будут соответствовать требованиям промышленной безопасности

Согласно п. 7.1.3 «Инфраструктура» [111] на МП должна быть определена, создана и поддерживаться инфраструктура, необходимая для функционирования ее основных технологических процессов с целью достижения качества продукции и услуг заданным требованиям.

Инфраструктура на ОПО МП представлена комплексом взаимосвязанных объектов, обеспечивающих основу функционирования металлургического производства: технические устройства, здания и сооружения, применяемые на ОПО.

Схема взаимосвязей инфраструктуры с управленческими, основными и обеспечивающими процессами на ОПО МП представлена на рисунке 2.6.

Основу схемы составляют три вида ключевых процессов: процессы управления на ОПО МП, основные производственные процессы и обеспечивающие процессы. Процессы управления предназначены для стратегического и оперативного управления ОПО, включая также управление качеством, персоналом, инфраструктурой и финансами. Управляемыми являются основные производственные процессы, необходимые для выпуска металлургической продукции, а также обеспечивающие процессы, предназначенные для обеспечения всеми видами ресурсов основных производственных процессов.



Рисунок 2.6 – Схема взаимосвязей инфраструктуры с управленческими, основными и обеспечивающими процессами на ОПО МП

Связующим элементом между основными производственными процессами и обеспечивающими процессами является инфраструктура МП, включающая в том числе основные производственные фонды предприятия: технические устройства, включая машины, технологическое оборудование, их системы, сооружения и здания (выделены сплошной линией в блоке «Инфраструктура»). Указанные элементы инфраструктуры обладают признаками опасности в соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». При работе МП выделен вспомогательный процесс «Оценка соответствия требованиям федерального законодательства» с целью исполнения обязательных требований федерального законодательства в области промышленной, экологической, радиационной и иных видов безопасности.

Правовой основой технического регулирования в области строительства является Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [300].

На рисунке 2.7 представлено сопоставление обязательных требований безопасности в соответствии с ФЗ № 184-ФЗ [299] и требований ФЗ № 384-ФЗ [300]. Стрелки на рисунке 2.7 означают соответствие обязательных требований ФЗ № 384-ФЗ требованиям ФЗ № 184-ФЗ.



Рисунок 2.7 – Сопоставление обязательных требований безопасности согласно ФЗ № 184 и ФЗ № 384

При проведении экспертизы промышленной безопасности в настоящее время применяется традиционная модель дискретной оценки качества технических устройств, зданий и сооружений на основе анализа экспертом степени соответст-

вия обязательным требованиям промышленной безопасности. Устанавливается один из следующих выводов [368]:

– «объект экспертизы соответствует требованиям промышленной безопасности и может быть применен при эксплуатации ОПО»;

– «объект экспертизы не в полной мере соответствует требованиям промышленной безопасности и может быть применен при условии внесения соответствующих изменений в документацию или выполнения соответствующих мероприятий в отношении технических устройств либо зданий и сооружений» (исключается с 01 марта 2023 г.);

– «объект экспертизы не соответствует требованиям промышленной безопасности и не может быть применен при эксплуатации ОПО».

Следует подчеркнуть, что данная оценка соответствия отражает реальное состояние элементов ОПО на дату утверждения заключения промышленной безопасности и действует на несколько лет вперед, до следующей экспертизы.

Оценка качества элементов ОПО зависит от интерпретации человеком-экспертом информации, полученной в ходе проведения экспертизы. Определяются каждые отдельные несоответствия обязательным требованиям стандартов (дефекты и повреждения), по которым производится сравнение с нормативными значениями подобных показателей. Оценка допустимости дефектов и их влияния на объект экспертизы производится *по барьерным значениям показателей*. При этом не разработан универсальный метод, позволяющий дать *непрерывную интегративную оценку качества* элемента ОПО [45].

В рамках традиционного подхода к оценке качества элементов ОПО (например, ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [93], СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» [334], РД 11-288-99 «Методика определения технического состояния кожухов доменных печей и воздухонагревателей» [200], РД 08-95-95 «Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов» [270] и др.) вопросы безопасности зданий, сооружений, техни-

ческих устройств и их частей продолжают оставаться по-прежнему актуальными, требующими разработки и использования принципиально нового подхода, основанного на последних достижениях науки и техники.

При этом качество экспертизы оказывает ответное воздействие на показатели деятельности предприятия и повышает результативность его функционирования.

Качество экспертизы элементов ОПО является промежуточным звеном между вызовом со стороны рынка и результатом деятельности предприятия, рисунок 2.8.

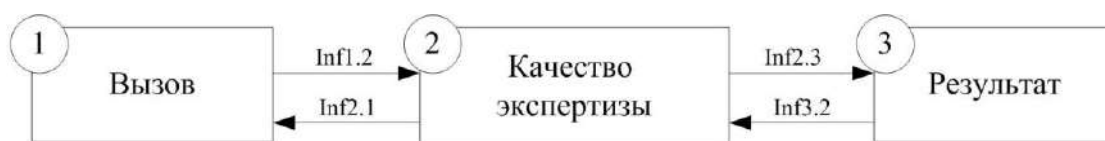


Рисунок 2.8 – Схема взаимодействия качества экспертизы с вызовом со стороны государства, рынка и результатом деятельности предприятия

На рисунке 2.8 введены обозначения: *Inf1.2* – требования к изменению экспертизы; *Inf2.3* – уточненная информация об объекте оценки; *Inf3.2* – количество аварий на ОПО; *Inf2.1* – развитие подсистемы экспертной оценки.

Уровень качества экспертизы элементов ОПО определяется исходя из планируемых показателей деятельности предприятия и из обязательных требований федерального законодательства.

Под качеством элементов ОПО понимается степень их соответствия требованиям: промышленной безопасности, экономической безопасности, правовой безопасности, производственной и экологической безопасности.

Схема разделения системы функционирования промышленного предприятия на составляющие подсистемы представлена на рисунке 2.9 [55]. При этом каждая подсистема включает в себя один или несколько единичных показателей качества, отвечающих требованиям обязательных и (или) добровольных стандартов, характеризующих состояние ОПО предприятия черной металлургии в текущий момент времени и в отдаленной перспективе.



Рисунок 2.9 – Схема разделения системы функционирования промышленного предприятия на составляющие подсистемы: производственную, экономическую, правовую, безопасности и экологическую

В диссертации рассматривается оценка качества элементов ОПО в части выполнения требований к механической безопасности.

Основополагающий вклад в разработку научных основ оценки и управления качеством внесли отечественные ученые: Азгальдов Г.Г. [36-40], Гличев А.В. [78, 79], Райхман Э.П. [38], Альперин Л.Н. [44], Бойцов В.В. [67], Адлер Ю.П. [32], Лapidус В.А. [175], Бойцов Б.В. [66, 365] и другие известные ученые.

Дальнейшее развитие теории и практики оценки и управления качеством в различных отраслях промышленности нашло отражение в работах Антипова Д.В. [46-48, 203], Анцева В.Ю. [49, 50, 142], Байбурина А.Х. [57-59], Горленко О.А. [87], Ивахненко А.Г. [136, 240, 137, 138, 135], Еремина К.И. [61, 62, 129, 238, 267, 275, 276], Клочкова Ю.С. [155], Козловского В.Н. [157, 158, 253, 255], Короткого А.А. [126, 164, 258, 259], Котельникова В.С. [169, 170], Панюкова Д.И. [253-255], Фреймана В.И. [378], Плахотниковой Е.В. [266], Одинокова С.А. [242], Тушавина В.А. [362], Смирновой М.С. [340], Мичурина С.В. [210], Фроловой Е.А. [379], Киселевича В.П. [153], Извекова Ю.А. [139, 140], Айдарова Д.В. [41], Пантюхина О.В. [252], Ивановой В.А. [133], Жетесовой Г.С. [130] и др.

Фундаментальные основы по управлению качеством продукции и производственных процессов на предприятиях металлургической отрасли Российской Федерации заложены в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный техни-

ческий университет им. Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова») основоположником научной школы Гуном Г.С. Им разработана методология оценки качества металлопродукции с использованием аппарата формальной логики и принципов квалиметрии [75, 117, 118, 233, 290, 363, 377].

В настоящее время в составе научной школы ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» успешно развиваются исследования:

– теория и технология производства изделий с заданным уровнем качества из металлических материалов различных классов, включая композиционные материалы (Чукин М.В., Барышников М.П. и др.) [117, 145, 233, 245, 246, 281, 286, 290, 363];

– методологические основы управления качеством при сортовой прокатке на основе процессного подхода с применением структурно-матричного описания моделей (Тулупов О.Н., Моллер А.Б. и др.) [144, 212, 213, 237, 359, 360];

– методология управления показателями качества продукции в технологиях метизного производства на основе моделей с элементами нечеткой логики (Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г., Константинов Д.В. и др.) [165-167, 233];

– управление качеством обработки металлов давлением на основе теории ограничений (Песин А.М., Салганик В.М., Чикишев Д.Н., Пустовойтов Д.О. и др.) [263, 264, 269, 294, 314];

– управление технологическими процессами производства катанки, волочения проволоки, производства плющенных лент специального назначения, повышению долговечности соответствующего оборудования (Платов С.И., Терентьев Д.В., Дема Р.Р. и др.) [196, 265, 283, 288];

– оценка качества продукции метизного производства и технологических процессов на основе принципов функционально-целевого анализа как методологической базы (Рубин Г.Ш., Камалутдинов И.М., Вахитова Ф.Т. и др.) [116, 290, 303, 305, 308];

– развитие теории и технологии синтеза литейных металлических и неметаллических сплавов на заранее заданные свойства, процессов их выплавки, ра-

финирирования, модифицирования (Колокольцев В.М., Савинов А.С., Феоктистов Н.А. и др.) [115, 149, 160, 313, 361, 376];

– теоретические и методологические основы оценки и управления качеством при производстве автокомпонентов с использованием металлургических процессов (Гун И.Г., Михайловский И.А., Калмыков Ю.В. и др.) [119, 120, 162, 208, 209, 287, 291, 292, 342, 385];

– управление и прогнозирование показателей качества в процессах нанесения покрытий (Мезин И.Ю., Кашников Ю.А., Кузнецов М.Г. и др.) [69, 198, 199, 343];

– методологические основы адаптивного управления качеством металлопродукции на технологических стадиях ее жизненного цикла (Голубчик Э.М., Телегин В.Е., Медведева Е.М. и др.) [84-86, 279];

– теория оценки согласованности технических требований на металлопродукцию при разработке нормативной технической документации с использованием S-образных кривых (Полякова М.А., Данилова Ю.В. и др.) [45, 121, 281, 289, 304-307, 380].

Логуновой О.С. выполнены научные работы, посвященные разработке технологии производства металлургической продукции и решениям по их автоматизации; разработке комплексной системы управления многостадийными производствами и применению теории распознавания изображений для прикладных задач, в том числе в области оценки качества непрерывнолитой заготовки с использованием алгоритмов распознавания образов в автоматизированном режиме [30, 43, 177-180, 182, 183, 185-189, 190, 204, 317].

Следует отметить работы Федосеева С.А., Гитмана М.Б., разработавших современные механизмы и инструменты управления большими производственными системами, а также принципы управления производством на тактическом уровне планирования в условиях нечеткой исходной информации [76, 77, 127, 353, 364, 371-374].

Среди основоположников теории качества за рубежом можно выделить работы У. Шухарта, Э. Деминга, Дж. Джурана, К. Исикавы, Г. Тагути, Ф. Кросби, А. Фейгенбаума и др. [9-16, 22, 23, 26, 34, 35, 52, 143, 249, 375].

Исследования, приведенные в диссертационной работе, являются продолжением и развитием направлений научной школы ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» по управлению качеством на предприятиях металлургической отрасли Российской Федерации. Отличительной особенностью настоящего исследования является применение современных инструментов ПЦП в системе управления качеством на ОПО МП.

2.3 Разработка целевых показателей и документированные элементы процесса управления опасными производственными объектами

Основой СМК МП, эксплуатирующего ОПО, является процессная модель, в которой выделен ключевой процесс «Управление качеством элементов ОПО». Важным аспектом при управлении процессом является его идентификация: определение границ процесса, определение целей и целевых показателей процесса, оценка и анализ рисков процесса, перечень процедур, входящих в процесс.

Для процессов СМК должна быть определена цель процесса и целевые показатели – показатели результативности функционирования процесса.

Целью процесса управления качеством элементов ОПО является обеспечение качества функционирования элементов ОПО.

Цель процесса должна отвечать критериям SMART (*Specific* (конкретная), *Measurable* (измеримая), *Attainable* (достижимая), *Relevant* (актуальная) и *Time-bound* (ограниченная во времени)), в том числе быть измеримой. Степень достижения цели процесса определяется через показатели результативности функционирования процесса управления качеством элементов ОПО.

Классификация результативности функционирования процесса управления качеством элементов ОПО приведена в таблице 2.2.

Для формализации данной информации используется документированный элемент СМК МП, эксплуатирующего ОПО, – карта процесса (КП). КП – доку-

ментированный элемент, необходимый для идентификации значимых факторов и элементов, входящих в границы конкретного процесса СМК.

Таблица 2.2 – Показатели результативности функционирования процесса

Показатель результативности функционирования процесса	Наименование целевого показателя
Показатели результативности процесса управления качеством функционирования элементов ОПО	«Аварии и инциденты на ОПО»
	«Критические замечания по результатам проведения экспертиз промышленной безопасности»
	«Несоответствия, выявленные в ходе проведения экспертиз промышленной безопасности»
Показатели результативности управления процессом функционирования элементов ОПО	«Выполнение графиков экспертиз промышленной безопасности»
	«Выполнение графиков обучения и аттестации работников, осуществляющих профессиональную деятельность, связанную с эксплуатацией ОПО»
	«Затраты на процесс управления качеством функционирования элементов ОПО»
	«Своевременность подготовки отчетной документации»

Структура КП включает:

- диаграмму описания границ процесса «SIPOC» (*Supplier* (поставщик), *Input* (вход), *Process* (процесс), *Output* (выход), *Customer* (заказчик)), описывающую поставщиков процесса, входы процесса, перечень документированных процедур, реализуемых в рамках процесса;
- характеристику процесса, содержащую цели и целевые показатели процесса.

Диаграмма описания границ процесса «SIPOC» приведена на рисунке 2.10.

В рамках ключевого процесса «Управления качеством элементов ОПО» выполняются документированные организационно-управленческие процедуры:

- разработка целей в области качества функционирования элементов ОПО;
- мониторинг показателей качества функционирования элементов ОПО;
- внутренние аудиты процесса СМК МП, эксплуатирующего ОПО;
- экспериментальные исследования элементов ОПО;
- производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности;
- экспертиза элементов ОПО.

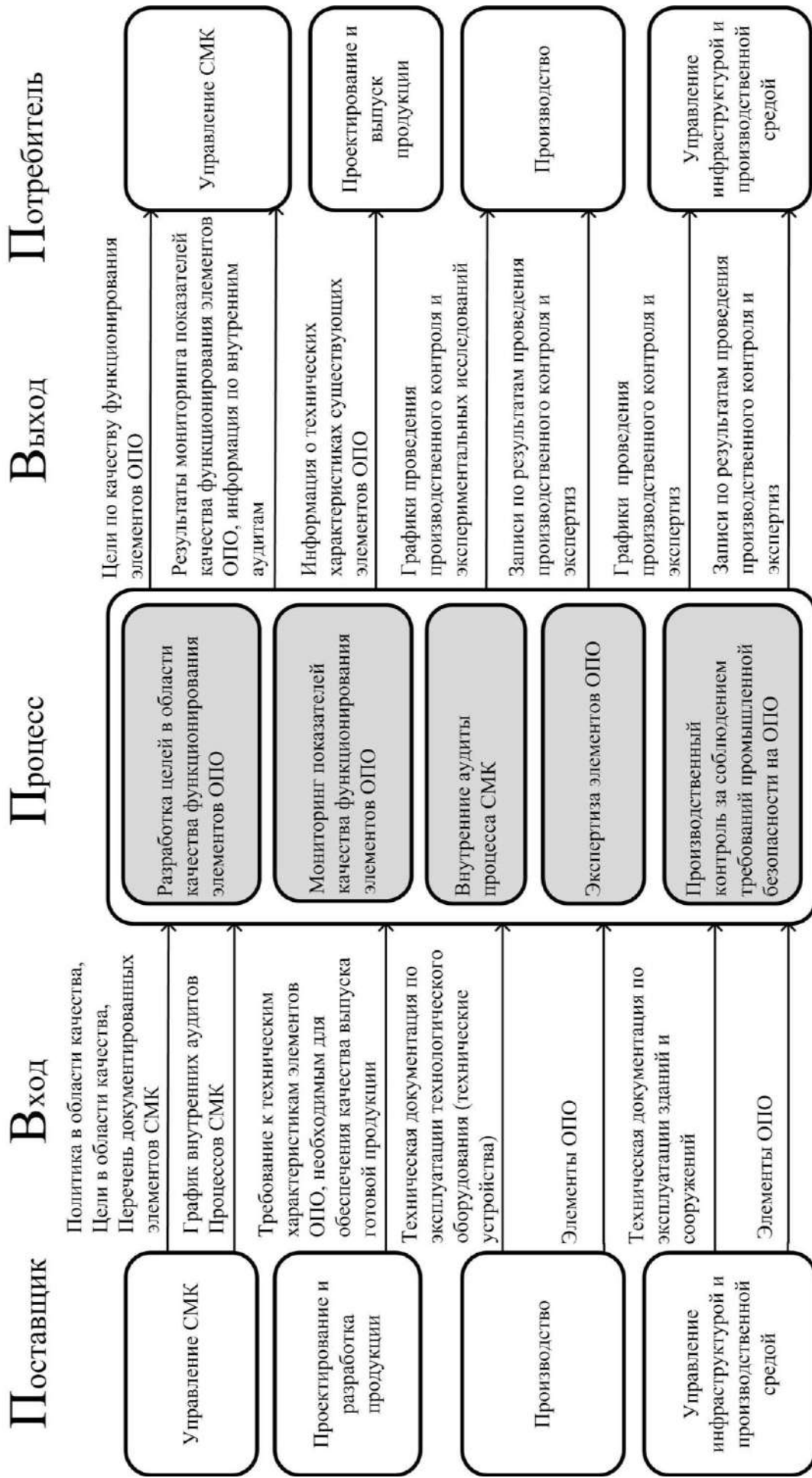


Рисунок 2.10 – Диаграмма описания границ процесса «СПОС»

Требования к документированным процедурам:

– процедуры должны быть описаны в нормативной документации организации (СТО, РИ и др.);

– процедуры должны быть интегрированы в действующую СМК МП.

Описание процесса СМК МП, эксплуатирующего ОПО, «Управление качеством элементов ОПО» приведено в разделе карты процесса «Характеристика процесса». Характеристика процесса приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Характеристика процесса «Управление качеством элементов ОПО»

Процесс СМК МП, эксплуатирующего ОПО	Управление качеством элементов ОПО
Владелец процесса	Главный инженер
Цель процесса	Обеспечение качества функционирования элементов ОПО
Показатели результативности функционирования процесса СМК на ОПО МП	
Показатели результативности процесса управления качеством функционирования элементов ОПО	«Аварии и инциденты на ОПО» Целевой показатель: количество аварий и инцидентов за период. Значение целевого показателя должно стремиться к нулю
	«Критические замечания по результатам проведения экспертиз промышленной безопасности» Целевой показатель: количество выявленных замечаний за период. Значение целевого показателя должно стремиться к нулю
	«Несоответствия, выявленные в ходе проведения экспертиз промышленной безопасности» Целевой показатель: количество выявленных несоответствий за период. Значение целевого показателя должно стремиться к нулю
Показатели результативности управления процессом функционирования элементов ОПО	«Выполнение графиков экспертиз промышленной безопасности» Целевой показатель: процент выполнения графика. Значение целевого показателя должно стремиться к 100%
	«Выполнение графиков обучения и аттестации работников, осуществляющих профессиональную деятельность, связанную с эксплуатацией ОПО» Целевой показатель: процент выполнения графика. Значение целевого показателя должно стремиться к 100%
	«Затраты на процесс управления качеством функционирования элементов ОПО» Целевой показатель: не превышение норматива по затратам. Значение целевого показателя не должно превышать установленного процента
	«Своевременность подготовки отчетной документации» Целевой показатель: процент своевременно подготовленной документации. Значение целевого показателя должно стремиться к 100%

Окончание таблицы 2.3

Процесс СМК МП, эксплуатирующего ОПО	Управление качеством элементов ОПО
Взаимодействие с другими процессами	<ul style="list-style-type: none"> – «Управление СМК»; – «Проектирование и разработка продукции»; – «Производство»; – «Обеспечение инфраструктурой и производственными средствами»
Регламентирующая документация	<ul style="list-style-type: none"> – нормативные правовые акты, устанавливающие обязательные требования в области промышленной безопасности; – Политика в области качества; – цели в области качества; – реестр рисков и возможностей СМК МП; – процессная модель; – реестр документированной информации СМК МП; – карта процесса
Правила (процедуры)	<ul style="list-style-type: none"> – разработка целей в области качества функционирования элементов ОПО; – мониторинг показателей качества функционирования элементов ОПО; – внутренние аудиты процесса СМК на МП; – экспериментальные исследования элементов ОПО; – производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности; – экспертиза элементов ОПО
Метод контроля	<ul style="list-style-type: none"> – внутренние аудиты СМК на МП; – анализ СМК МП со стороны руководства; – производственный контроль; – независимая экспертиза
Ресурсы	<ul style="list-style-type: none"> – мотивированный, обученный, компетентный персонал; – исправные оборудование, оснастка, инфраструктура, ИТ, измерительные приборы и оборудование

В данном разделе описан документированный процесс СМК МП, эксплуатирующего ОПО. Приведены ключевые его элементы. Это позволяет организовать результативное функционирование процесса, обеспечив при этом управление элементами ОПО в модели СМК в логике процессного подхода.

2.4 Модель комплексного управления опасными производственными объектами

Модель комплексного управления ОПО основывается на причинно-следственных связях, формирующих методологию и инструментарий управления качеством продукции.

Модель основана на цикле PDCA и затрагивает этапы комплексного управления, начиная от планирования деятельности и заканчивая совершенствованием.

В основе модели лежит ключевая цель комплексного управления ОПО, направленная на обеспечение безопасности эксплуатации ОПО и повышения результативности функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО.

Объектами управления в рамках модели являются продукция МП, качество которой, помимо организационных, технологических и технических методов мониторинга и контроля, обеспечивается еще и за счет управления процессами и управления документированными элементами СМК МП. Процессы СМК МП, эксплуатирующего ОПО, составляют ядро модели СМК и объединены в процессы управления, основные и обеспечивающие процессы процессной модели. Документированные элементы объединены в совокупность элементов, обеспечивающих выполнение политики в области качества, достижение целей в области качества продукции и цели в области результативности функционирования процессов.

Для комплексного управления СМК МП, эксплуатирующего ОПО, реализованы последовательные процедуры планирования, реализации и контроля. Модель комплексного управления ОПО представлена на рисунке 2.11.

К процедурам планирования относятся:

- процедура оценки рисков и возможностей при эксплуатации ОПО. Данная процедура позволяет выявлять, идентифицировать и минимизировать негативное влияние рисков появления несоответствий, связанных с ОПО. Также в рамках процедуры выявляются и идентифицируются возможности, направленные на улучшения при эксплуатации ОПО;

- определение показателей качества элементов ОПО. Входными данными для определения и уточнения показателей качества является классификация дефектов и повреждений. Показатели качества определяются с учетом данной классификации. Показатели качества подразделяются на базовые (полученные традиционными методами), цифровые (полученные новыми цифровыми методами) и интегративные (полученные путем реализации принципа суперпозиции для гармонизации решения, полученного на основе базовых показателей качества, с уче-

том квалиметрических значений цифровых показателей). На основании установленных показателей качества проводится мониторинг, оценка и анализ результативности функционирования элементов ОПО;

– результирующей процедурой планирования является процедура планирования мероприятий по обеспечению показателей качества элементов ОПО. Планы и программы мероприятий направлены по повышению результативности функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО.

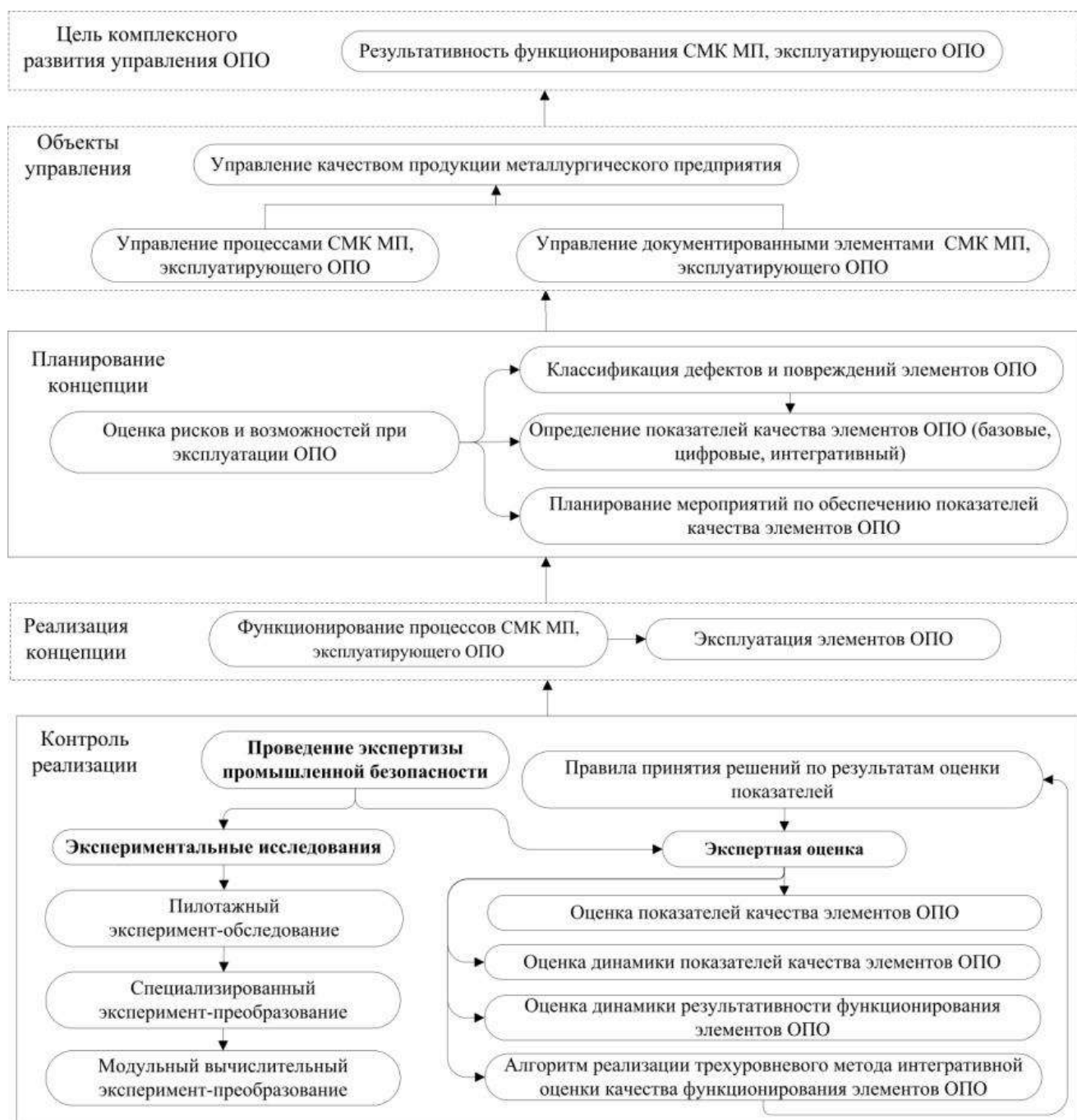


Рисунок 2.11 – Модель комплексного управления ОПО

На основе этапа планирования осуществляется реализация и функционирование процессов СМК МП, эксплуатирующего ОПО. Созданные условия должны обеспечить соответствие установленным требованиям к ОПО.

Для мониторинга, анализа и оценки создан блок контроля, состоящий из процедур проведения экспертизы промышленной безопасности. Выделяется два направления: экспериментальные исследования и экспертная оценка.

Процедуры экспериментальных исследований основываются на трех уровнях экспериментальных исследований:

- пилотажный эксперимент-обследование;
- специализированный эксперимент-преобразование;
- модульный вычислительный эксперимент-преобразование.

Методика проведения экспериментальных исследований для оценки качества функционирования элементов ОПО подробно описана в главе 3 диссертации.

Экспертная оценка предполагает оценку показателей качества функционирования и показателей результативности функционирования процессов СМК.

Таким образом, модель комплексного управления ОПО предполагает интеграцию инструментария управления качеством продукции, являющегося результирующим и системообразующим фактором управления развитием СМК, и инструментария управления ОПО – ключевого обеспечивающего фактора.

2.5 Механизм трансформации подсистемы экспертной оценки качества элементов опасных производственных объектов для новых условий функционирования

В соответствии с требованиями федерального законодательства [272, 301] на МП, эксплуатирующем ОПО, осуществляется производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности и функционирует система управления промышленной безопасностью.

Результаты анализа и синтеза моделей, приведенных в п. 2.1 – п. 2.2, позволили сформировать кибернетическую модель управления на МП, эксплуатирующем ОПО. Схема модели приведена на рисунке 2.12.

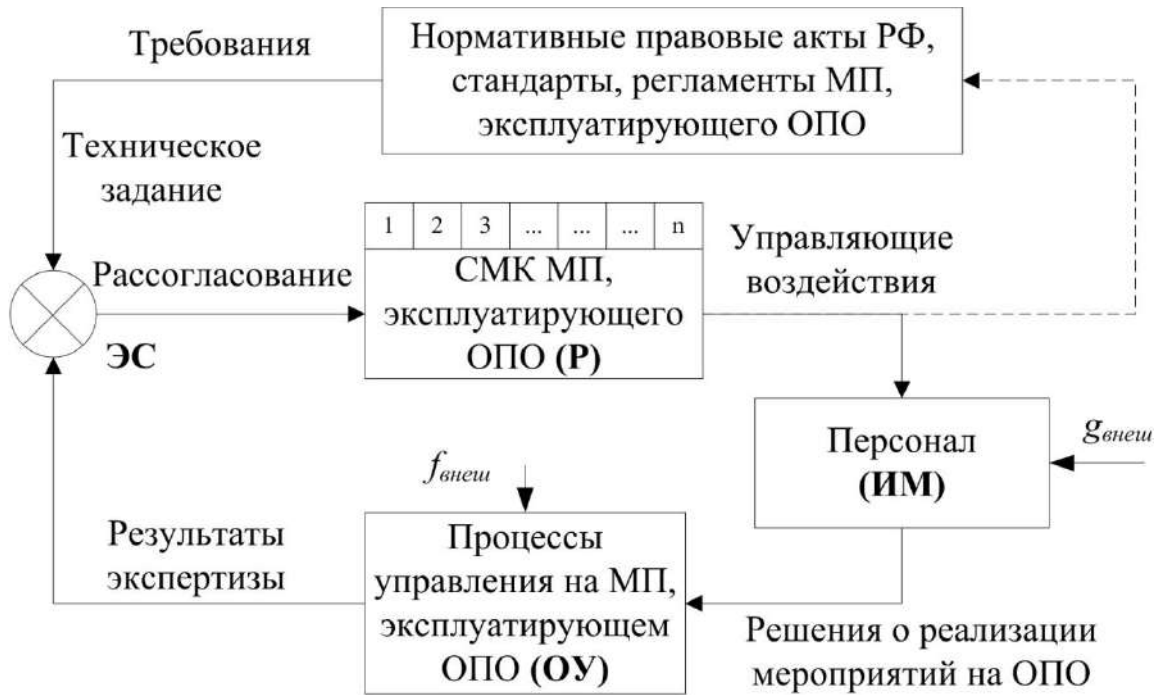


Рисунок 2.12 – Схема кибернетической модели управления на МП, эксплуатирующем ОПО

На рисунке 2.12 введены обозначения: ОУ – объект управления; ЭС – элемент сравнения; Р – регулятор (управляющее воздействие); ИМ – исполнительный механизм; $f_{\text{внеш}}$ – внешнее возбуждение, оказывающее внешнее воздействие на объект управления; $g_{\text{внеш}}$ – внешнее возбуждение, оказывающее внешнее воздействие исполнительный механизм и принятие решений; $1 \div n$ – элементы СМК МП, эксплуатирующего ОПО.

Задачей элемента сравнения является выявление рассогласований между требованиями к объекту управления и результатами его экспертизы после реализации мероприятий, обоснованных управляющим воздействием. На начальном этапе рассогласование велико из-за отсутствия действий. Цель управления – сократить рассогласование до нулевого значения.

Из блока «Нормативные правовые акты РФ, стандарты, регламенты МП, эксплуатирующего ОПО» в ЭС поступает информация в виде условий, запретов, ограничений и других обязательных требований в области промышленной безопасности.

Одновременно в ЭС поступает информация о результатах экспертиз промышленной безопасности технических устройств, зданий и сооружений, эксплуатирующихся на ОПО МП. В блоке ЭС происходит сравнение информации о предъявляемых требованиях с информацией о результатах проведенных экспертиз, вследствие чего могут возникнуть несогласования.

Информация о полученных несогласованиях поступает в блок «СМК МП, эксплуатирующего ОПО (Р)» и является основой для выработки управляющих воздействий.

Информация об управляющих воздействиях направляется в блок «Нормативные правовые акты РФ, стандарты, регламенты МП, эксплуатирующего ОПО» с целью возможной корректировки стандартов МП.

Одновременно информация об управляющих воздействиях направляется в блок «Персонал (ИМ)» для выработки решений о реализации конкретных мероприятий на ОПО.

Информация о реализации конкретных мероприятий на ОПО поступает в блок «Процессы управления на МП, эксплуатирующем ОПО (ОУ)». Результатом процессов управления на МП, эксплуатирующем ОПО, является множество решений, приводящих к изменению технического состояния элементов ОПО. В контексте рассматриваемой задачи выбраны результаты проведения экспертизы промышленной безопасности элементов ОПО, которые поступают в ЭС.

На рисунке 2.13 представлена схема типовой организационной структуры управления промышленной безопасностью на МП. Штрихом выделен блок системы производственного контроля качества элементов ОПО.



Рисунок 2.13 – Схема организационной структуры управления промышленной безопасностью МП – индустриального партнера

На рисунке 2.13 введено обозначение: СУПБ – система управления промышленной безопасностью.

Схема организационной структуры системы производственного контроля на МП представлена на рисунке 2.14.

На рисунке 2.14 введены обозначения: ГПКК – группа производственного контроля качества; ПК – производственный контроль. Зеленым цветом обозначена подсистема экспертной оценки качества (ПЭОК) элементов ОПО, включающая руководителя группы (старший менеджер), специалистов производственного контроля, в том числе осуществляющих контроль непосредственно на ОПО (маршрутный производственный контроль) и специалистов по аналитике собираемых данных.

Специалисты по аналитике осуществляют анализ полученных данных, разрабатывают комплекс мероприятий и рекомендаций для приведения показателей качества элементов ОПО в соответствие нормативным требованиям и корректировке положений СУПБ.

Для перехода ПЭОК элементов ОПО к функционированию в новых условиях необходимо обеспечить специалистов по аналитике информацией трех видов:

аналитической, экспертной и информацией из видеопотока, полученного с помощью БПЛА. Консолидация указанных видов информации требует применения новых инструментов ПЦП.

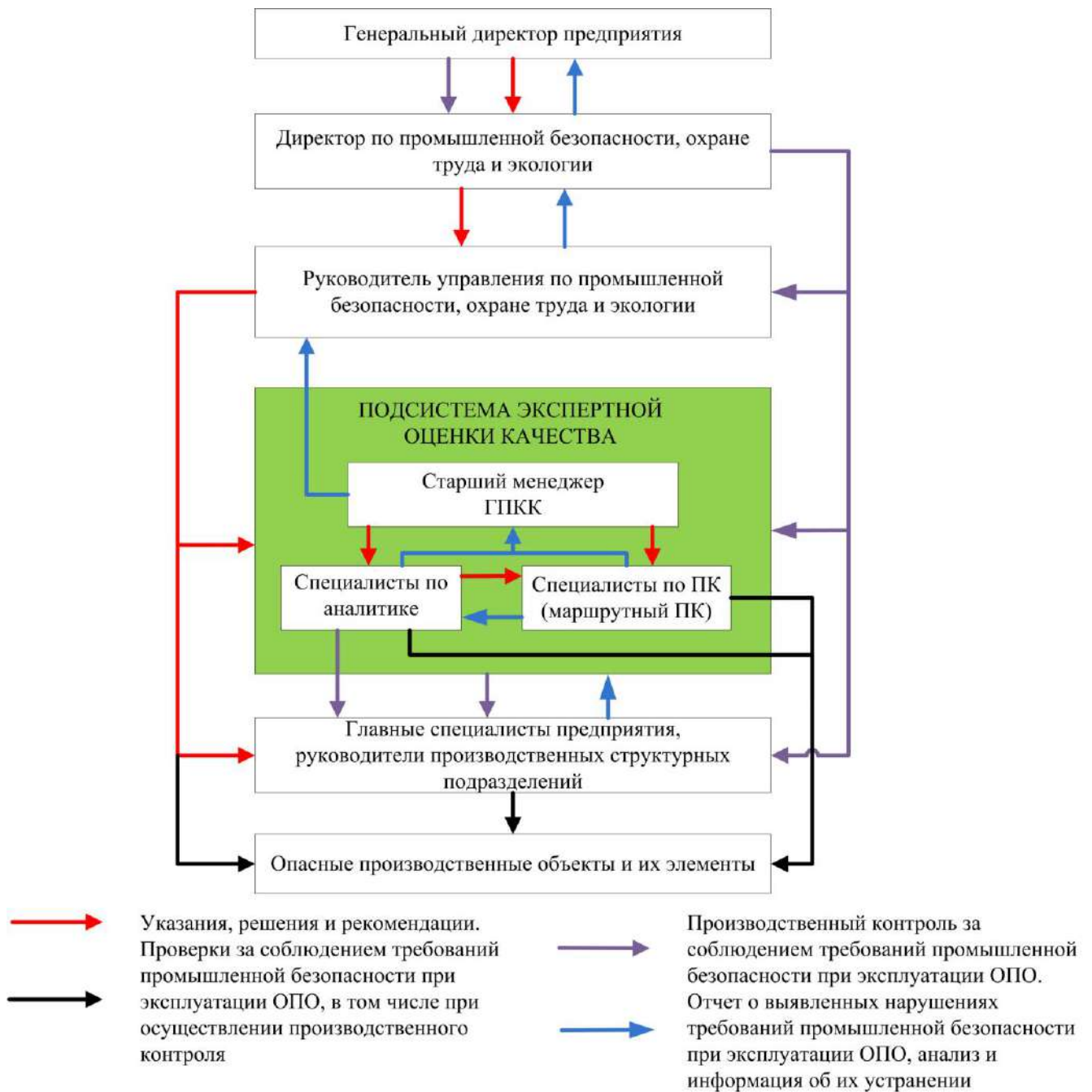


Рисунок 2.14 – Схема организационной структуры системы производственного контроля на МП в существующих условиях функционирования

Введение новых инструментов ПЦП для экспертизы элементов ОПО вызывает рассогласование между функциями системы в новых и существующих условиях функционирования. В качестве рассогласования систем управления исходного и нового состояния принимается отсутствие новых элементов и их свойств в

соответствии с требованиями ПЦП. *Механизм трансформации ПЭОК элементов ОПО устраняет эти рассогласования.*

Схема механизма трансформации ПЭОК элементов ОПО на МП для новых условий функционирования приведена на рисунке 2.15.



Рисунок 2.15 – Схема механизма трансформации ПЭОК элементов ОПО на МП для новых условий функционирования

На рисунке 2.15 введены обозначения: R , T , E – классификация персонала по функциональным уровням: R – уровень исследователя (*Researcher*); T – уровень функционального технолога (*Technologist*); E – уровень эксперта (*Expert*); ПК – программный комплекс; ε_i – рассогласование между состояниями ПЭОК; *Transf* – вид трансформации ПЭОК.

В механизме трансформации ПЭОК устраняется пять видов рассогласований (таблица 2.4).

Трансформация ПЭОК элементов ОПО на МП требует оценки экономической эффективности с точки зрения затратных и прибыльных статей проекта.

Таблица 2.4– Перечень устраняемых рассогласований в ходе трансформации ПЭОК

Обозначение	Уровень	Содержание
ε_1	Системы	Появление новых инструментов сбора и обработки информации о состоянии элементов ОПО
ε_2	Цели	Рассогласование в требованиях к качеству экспертной оценки на основе введения новых цифровых показателей качества
ε_{31}	Инструменты	Изменение уровня требований к компетенции персонала по уровням <i>R, T, E</i>
ε_{32}	Инструменты	Требования к аппаратному обеспечению, способного обрабатывать большие фото- и видеопотоки (<i>Big Data</i>)
ε_{33}	Инструменты	Требования к функционалу персонала по уровням <i>R, T, E</i>

2.6 Выводы по главе 2

По результатам исследования, проведенного в данной главе, сделаны следующие основные выводы:

1. Предложена модель методологии разработки и внедрения СМК МП, эксплуатирующего ОПО. Методология представляет собой совокупность моделей, правил, методов и методик управления качеством, объединенных системными принципами в СМК, учитывающих специфику ОПО и позволяющих обеспечивать повышение качества выпускаемой продукции.

2. Построена структурная модель методологии разработки и внедрения СМК МП, эксплуатирующего ОПО, которая состоит из двух уровней. Первый (верхний) уровень методологии разработки и внедрения СМК МП, эксплуатирующего ОПО, основывается на цикле PDCA и описывает элементы создания СМК, учитывающие требования всех заинтересованных сторон, в том числе законодательные требования к ОПО, внедрение в деятельность организации, организацию процессов мониторинга, анализа и оценки результативности функционирования СМК, включая мониторинг, анализ и оценку целей в области качества продукции, показателей результативности функционирования, показателей качества и результативности функционирования элементов ОПО. Второй (нижний) уровень методологии разработки и внедрения СМК МП, эксплуатирующего ОПО,

также основывается на цикле PDCA и описывает элементы организации функционирования СМК, включая планирование, реализацию, мониторинг, анализ и оценку результативности функционирования, улучшения.

3. Разработана обобщенная процессная модель СМК МП, эксплуатирующего ОПО, которая реализуется на отраслевом и межотраслевом уровнях. Каждый из процессов системы направлен на реализацию конкретных пунктов ГОСТ Р ИСО 9001. Для блока управления промышленной безопасностью и охраны труда в процессной модели определены пункты: 5; 7.1.3; 7.1.5; 8.4.

4. Разработаны и классифицированы показатели результативности функционирования процесса, которые разделены на две группы: показатели результативности процесса управления качеством функционирования элементов ОПО и показатели результативности управления процессом функционирования элементов ОПО. Для формализации данной информации используется документированный элемент СМК МП, эксплуатирующего ОПО. Документированные элементы СМК МП, эксплуатирующего ОПО, необходимы для идентификации значимых факторов и элементов, входящих в границы конкретного процесса СМК. Структура КП включает: диаграмму описания границ процесса «SIPOC», описывающую поставщиков процесса, входы процесса, перечень документированных процедур, реализуемых в рамках процесса; характеристику процесса, содержащую цели и целевые показатели процесса.

5. Разработана научно-практическая модель комплексного управления ОПО на МП. Объектами управления в рамках модели является продукция МП, качество которой, помимо организационных, технологических и технических методов мониторинга и контроля, обеспечивается еще и за счет управления процессами и управления документированными элементами СМК МП, эксплуатирующего ОПО. Процессы СМК МП, эксплуатирующего ОПО, составляют ядро модели СМК и объединены в процессы управления, основные и обеспечивающие процессы процессной модели. Документированные элементы объединены в совокупность элементов, обеспечивающих выполнение Политики в области качества,

достижения целей в области качества продукции и цели в области результативности функционирования процессов.

6. Предложен механизм трансформации ПЭОК элементов ОПО для новых условий функционирования в рамках СМК МП, эксплуатирующего ОПО. Механизм трансформации ПЭОК функционирования элементов ОПО устраняет рассогласования на уровне системы, целей и инструментов при введении новых инструментов ПЦП.

Таким образом, во второй главе разработаны решения, направленные на развитие науки и практики разработки и внедрения СМК МП, эксплуатирующего ОПО.

Дальнейшая работа сосредоточена в области создания комплексного инструментария оценки, мониторинга и управления качеством функционирования элементов ОПО.

Первично просматривается высокий уровень перспективности разработки и реализации трехуровневого комплекса инструментария управления качеством функционирования элементов ОПО. На первом уровне решаются задачи обследования с использованием передовых технических решений. На втором уровне реализуется специализированное преобразование полученных цифровых данных. На третьем уровне реализуются модульное вычисление и преобразование цифровых данных в количественно-качественный результат, отражающий экспертно-аналитический вывод о качестве функционирования элементов ОПО.

3 РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОЦЕНКИ, МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

3.1 Разработка методики проведения экспериментальных исследований для оценки качества функционирования элементов опасных производственных объектов

Комплекс научно-прикладного инструментария управления качеством функционирования ОПО должен быть выстроен с учетом требований традиционных инструментов экспертной оценки качества, которые подразумевают проведение работ по обследованию, мониторингу, изучению состояния, обобщению и систематизации полученных данных, а также проведению опытных работ и экспериментальных исследований, направленных в том числе на оценку адекватности полученных результатов.

В структуре исследований среди эмпирических методов-действия [236] выделены методы: обследование объекта, наблюдение, измерение, мониторинг, эксперимент и т.п. Эмпирические методы-действия подразделены на два вида: методы изучения объекта без его преобразования (наблюдение, обследование); методы активного преобразования (эксперимент).

К методам, преобразующим объект исследования, относятся опытная работа и эксперимент. Различие между опытной работой и экспериментом состоит в строгости соблюдения плана преобразований объекта. Опытная работа – нестрогая исследовательская процедура, эксперимент – строгая планируемая процедура.

В таблице 3.1 приведены виды обследования по глубине детализации.

Таблица 3.1 – Перечень методов обследования по глубине детализации

№	Наименование метода	Содержание метода
1	Пилотажные	Предварительное поверхностное изучение объекта
2	Специализированные	Изучение отдельных сторон объекта
3	Модульные	Изучение блоков, комплексов вопросов, программируемых исследователем
4	Системные	Целостное рассмотрение объекта, его системообразующих факторов

В последние десятилетия активно развиваются информационные средства измерения качества объектов на основе цифровых технологий. Появилось понятие вычислительного эксперимента, с помощью которого на основе моделирования, цифровых теней и цифровых двойников добываются новые знания об объектах, процессах и явлениях.

Сложность и многомерность ключевых характеристик качества функционирования элементов ОПО требуют самой широкой реализации как традиционных, так и современных методов управления качеством. С учетом практики решаемой отраслевой проблемы проведем обобщение трех видов экспериментального исследования, относящихся к эмпирическим методам действия в рамках единой платформы, определяющей концептуальную инструментальную базу управления качеством на ОПО (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Три уровня исследования элементов, входящих в состав инструментария управления качеством на ОПО

Уровень	Наименование	Место проведения	Объект исследования
Первый	Пилотажное обследование	Промышленное предприятие	Технические устройства, здания и сооружения как элементы ОПО
Второй	Специализированное преобразование	Лаборатория испытания материалов и конструкций	Стандартные образцы для определения прочностных и деформативных свойств материалов и конструкций
Третий	Модульное вычислительное преобразование	Вычислительная лаборатория	Цифровая тень технического устройства, здания и сооружения как элемента ОПО

Анализ данных таблицы 3.2, показывает, что на первичном уровне необходимо рассматривать пилотажное обследование, которое реализует функцию предварительного обследования и предназначено для изучения текущего состояния технических устройств, зданий и сооружений, эксплуатируемых на ОПО. Таким образом, формируется цифровая тень объекта и накопление полученных ретроспективных данных, то есть формирование цифровой базы знаний.

Далее требуется реализация специализированного преобразования, позволяющего исследовать свойства материалов конструкций технических устройств, зданий и сооружений на основной стадии их жизненного цикла – эксплуатации на ОПО МП.

На третьем этапе требуется реализация модульного вычислительного преобразования, которое обеспечивает возможность построения нового перечня цифровых показателей при экспертной оценке качества технических устройств, зданий и сооружений, а также позволяет заложить основы модели для прогнозирования нового состояния элементов ОПО.

Таким образом, концепция комплекса инструментария управления качеством функционирования элементов ОПО состоит в построении эмпирической платформы, позволяющей учесть вызовы трансформации системы управления качеством элементов ОПО, активного использования инструментов цифровой платформы с учетом свойств используемых материалов конструкций.

В качестве графической схемы, отражающей основные концептуальные решения при разработке комплексного инструментария управления качеством, на рисунке 3.1 представлена схема взаимосвязи основных компонент.

В схеме взаимосвязи компонент определено 15 информационных потоков, определяющих эмпирическую основу для обоснования полученных научно-практических результатов (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Перечень информационных потоков при проведении трехуровневого исследования для оценки качества функционирования элементов ОПО

Обозначение	Содержание
<i>Inf₁</i>	Требования к экспертизе элементов ОПО в рамках традиционной технологии
<i>Inf₂</i>	Требования к точности информации о состоянии элементов ОПО с учетом цифровизации экспертизы
<i>Inf₃</i>	Недостаток информации о свойствах основного материала конструкций элементов ОПО на стадии эксплуатации их жизненного цикла
<i>Inf₄</i>	Результаты обследования текущего состояния элементов ОПО с помощью технических средств, включая БПЛА, в форме фото- и видеопотоков
<i>Inf₅</i>	Результаты визуального обследования элементов ОПО
<i>Inf₆</i>	Результаты исследований свойств материалов конструкций путем испытания стандартных образцов
<i>Inf₇</i>	Результаты наблюдения за лабораторными испытаниями стандартных образцов с фиксированием информации в виде фото- и видеопотоков
<i>Inf₈</i>	Перечень базовых показателей качества функционирования элементов ОПО
<i>Inf₉</i>	Правила принятия решений о соответствии элементов ОПО заданному техническому состоянию

Окончание таблицы 3.3

Обозначение	Содержание
Inf_{10}	Результаты принятия решений о качестве функционирования элементов ОПО на основе экспертной оценки
Inf_{11}	Перечень цифровых показателей качества функционирования элементов ОПО
Inf_{12}	Описание текущего состояния элементов ОПО
Inf_{13}	Описание прогнозируемого состояния элементов ОПО
Inf_{14}	Перечень показателей качества функционирования элементов ОПО
Inf_{15}	Рекомендации о трансформации процедуры экспертизы элементов ОПО

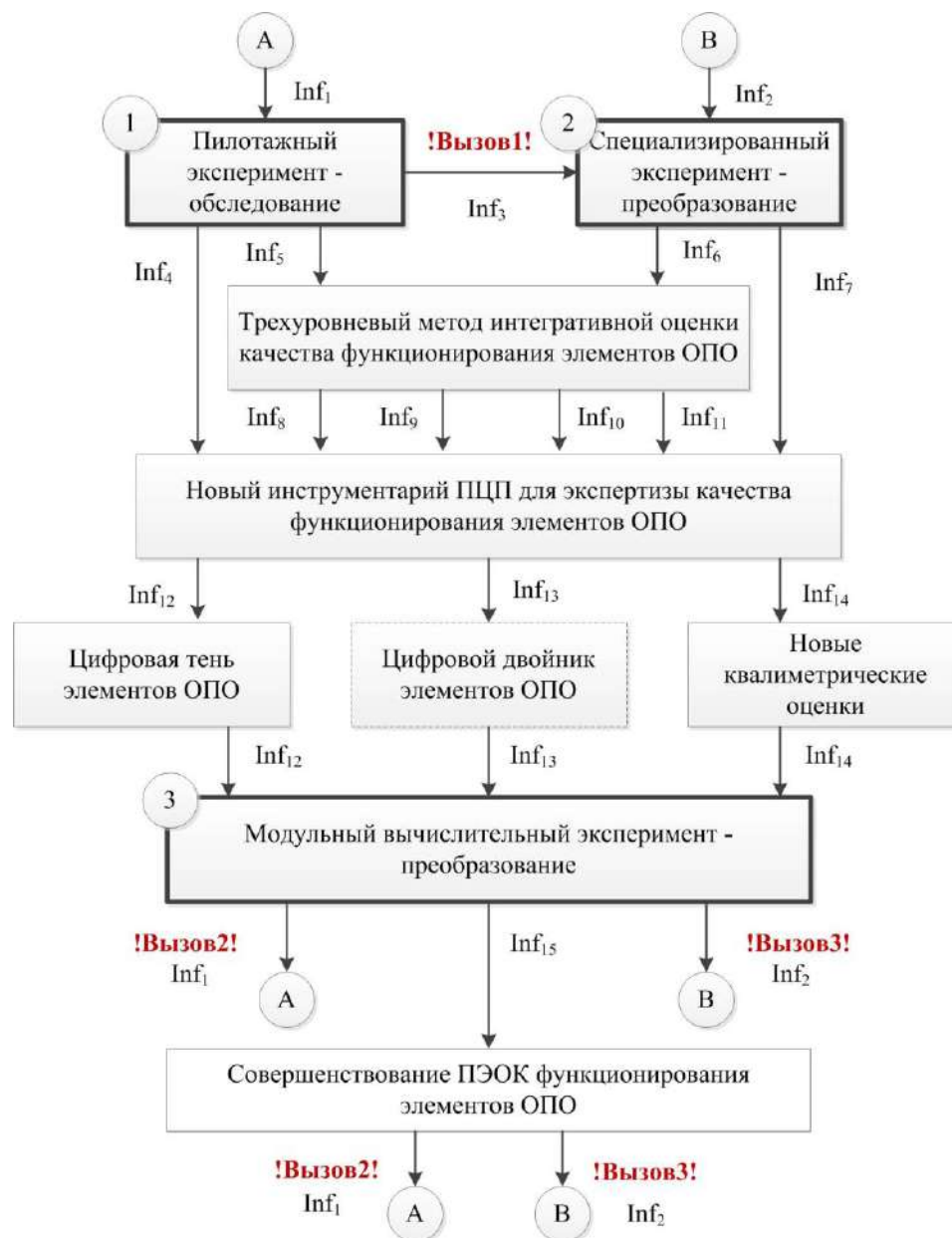


Рисунок 3.1 – Методика проведения экспериментальных исследований для оценки качества функционирования элементов ОПО

Следует выделить, что блок цифрового двойника в схеме на рисунке 3.1 рассматривается как перспективное направление исследования.

3.2 Обоснование и выбор элементов опасных производственных объектов для определения ключевых показателей качества функционирования с использованием инструментов пилотажного обследования

С целью проведения пилотажного обследования по изучению показателей качества, определяющих состояние зданий и сооружений как элементов ОПО, определены пилотные объекты. Пилотные объекты находятся в составе ОПО, эксплуатируемых на ПАО «ММК».

Выбор пилотных объектов осуществлен в зависимости от: среды эксплуатации зданий и сооружений (по степени агрессивности, по наличию воздействия высоких температур, выделений производственной пыли и т.д.); эксплуатационных характеристик БПЛА; принадлежности к основным видам производственной деятельности ПАО «ММК». Перечень объектов ПАО «ММК», выбранных для проведения пилотажного эксперимента обследования представлен в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Перечень объектов ПАО «ММК», выбранных для проведения пилотажного эксперимента-обследования

№	Наименование объекта	Структурное подразделение	Среда эксплуатации объекта	Принадлежность к основным видам производственной деятельности
1	Ковш сталеразливочный	ККЦ	Агрессивная (высокие тепловыделения, задымлённость)	ГМ
2	Главный корпус ЛПЦ №8	ЛПЦ №8	Слабоагрессивная (регенерация кислоты)	ГП
3	Здание литейного двора доменной печи № 6	ДЦ	Агрессивная (высокие тепловыделения, задымлённость)	ГМ
4	Здание склада № 54 УПП	УПП	Неагрессивная среда	УПП
5	Здание ПВЭС	УГЭ	Слабоагрессивная (тепловыделения)	УГЭ
6	Дымовая труба № 132 ПВЭС	УГЭ	Слабоагрессивная (отводимые газы SO ₂ , SO ₃)	УГЭ
7	Территория ПАО ММК» – проспект Доменщиков	ДЦ	Неагрессивная среда	АО

В таблице 3.4 введены обозначения: ЛПЦ – листопрокатный цех; ДЦ – доменный цех; УПП – управление подготовки производства; УГЭ – управление главного энергетика; ГП – главный прокатчик; ГМ – главный металлург; АО – административный отдел; ПВЭС – паровоздуходувная электростанция.

На территории ПАО «ММК» находится 52 ОПО с размещенными на них

более 5,7 тыс. зданий и сооружений: здания цехов, складов, насосных, котельных, подстанций, административно-бытовых корпусов; сооружения: колоннады, пешеходные мосты, дымовые трубы, бункера, галереи, отстойники и др.

Вид пилотных объектов представлен на рисунках 3.2 и 3.3.

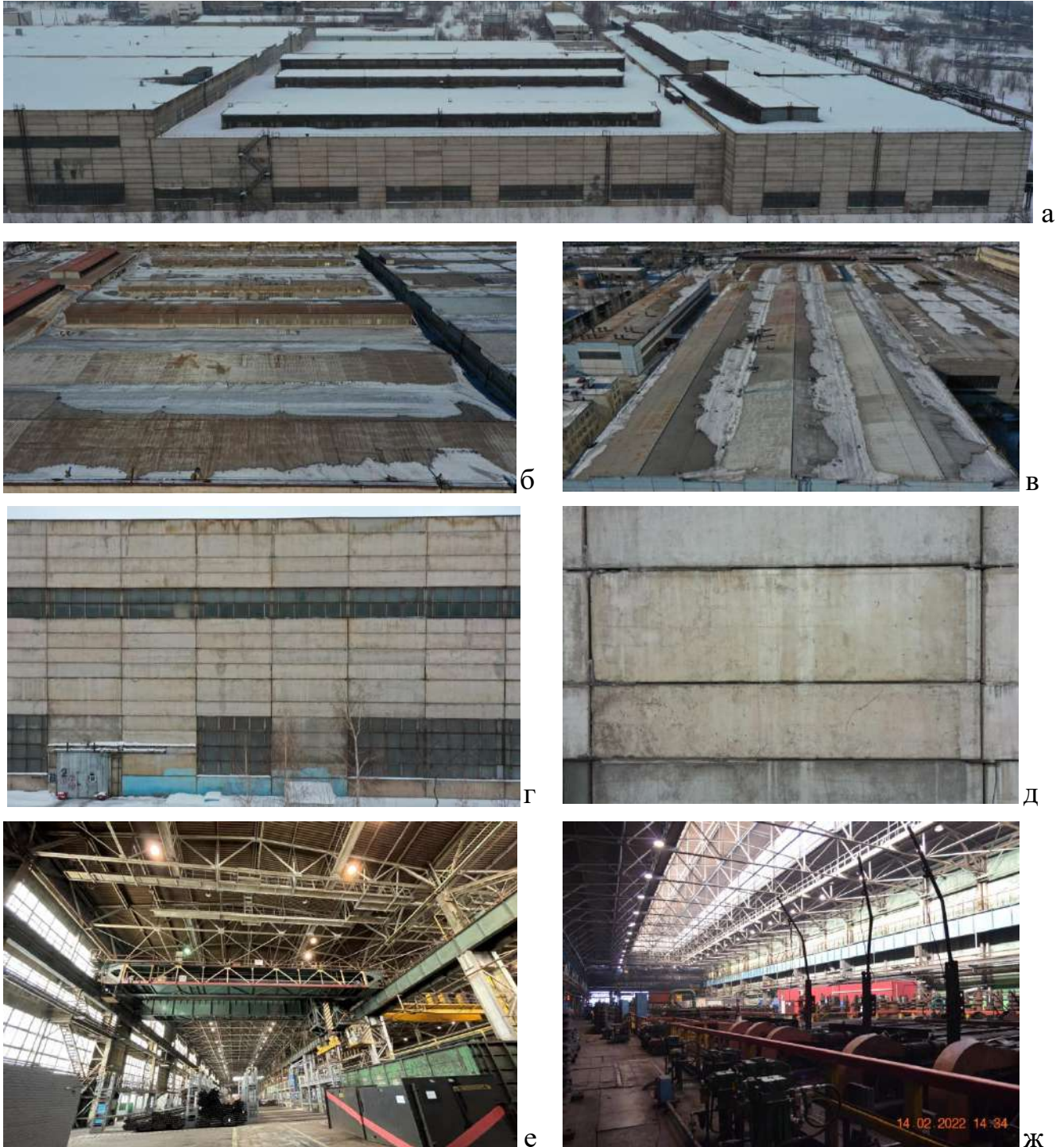


Рисунок 3.2 – Вид главного корпуса листопркатного цеха № 8 ПАО «ММК»: а – общий вид здания; б, в – фрагменты кровли здания; г, д – фрагменты фасада здания; е, ж – вид производственных помещений внутри здания

Из железобетона выполнены: фундаменты, фундаментные балки, колонны, стропильные и подстропильные фермы, стропильные балки, плиты покрытий, подкрановые балки, фонари, наружные ограждающие конструкции. В настоящее время действуют своды правил [350, 351], регламентирующие правила проектирования сборных железобетонных конструкций одноэтажных и многоэтажных каркасных зданий производственного назначения.

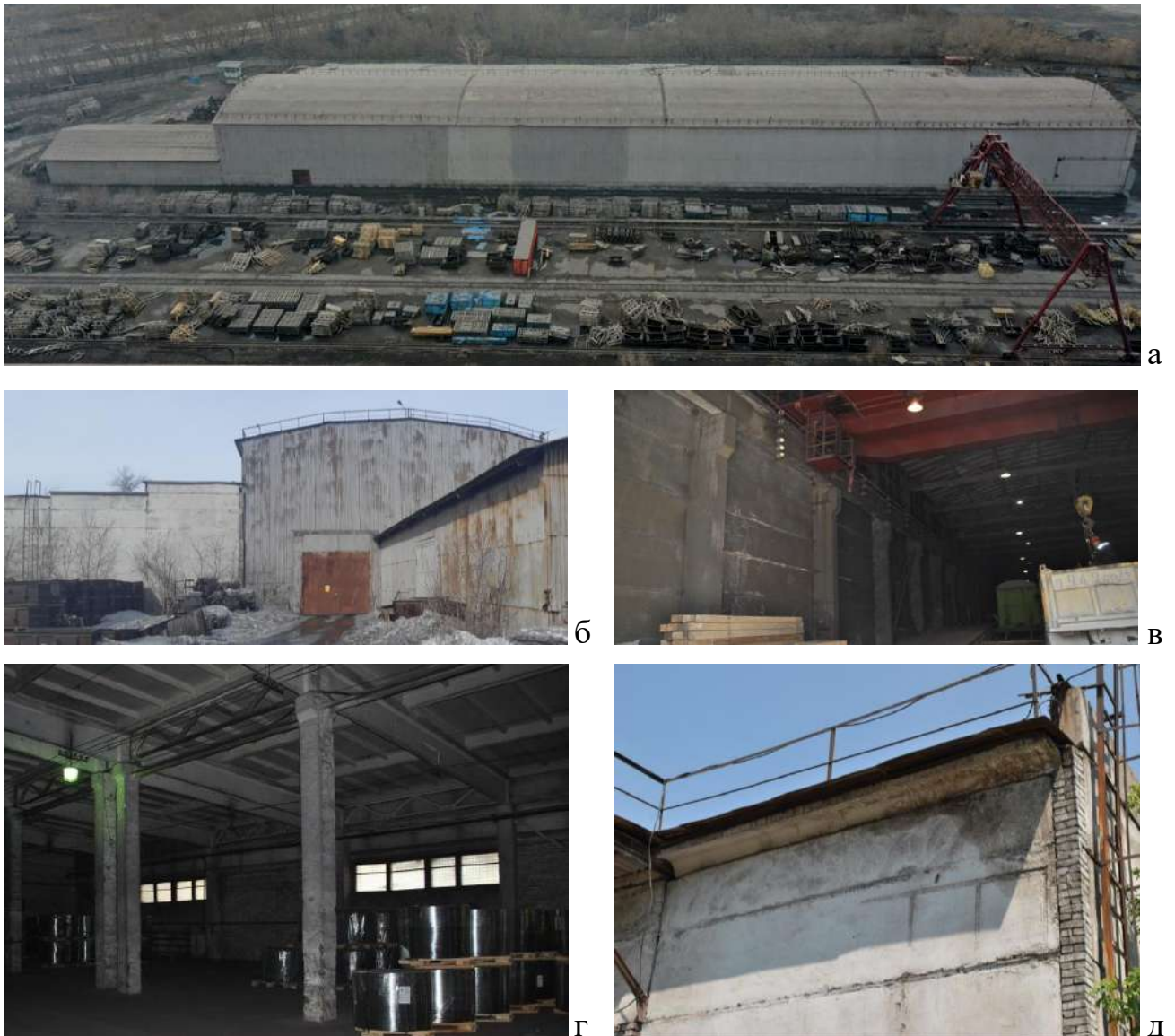


Рисунок 3.3 – Вид здания склада № 54 управления подготовки производства ПАО «ММК»: а – общий вид здания; б – южный фасад здания; в, г – вид конструкций внутри здания; д – фрагмент фасада здания

Применение железобетонных конструкций в конструктивной системе зданий и сооружений на ОПО позволяет использовать высокие прочностные свойства бетона, обеспечивать высокую долговечность, гигиеничность, сопротивляе-

мость динамическим нагрузкам, большую продолжительность эксплуатации, высокий класс огнестойкости и пожарной опасности [302] и вместе с тем невысокие стоимость изготовления и эксплуатационные расходы. При этом железобетон имеет большой собственный вес, высокую теплопроводность и звукопроводность, сложность обеспечения условий для набора прочности бетоном, а также склонность к образованию эксплуатационных и иных трещин.

Таким образом, на примере ПАО «ММК» установлено, что значительное количество зданий и сооружений на ОПО МП выполнено с применением железобетонных несущих и ограждающих конструкций. Это предопределяет необходимость проведения пилотажного эксперимента обследования по изучению состояния указанных зданий и сооружений, эксплуатируемых на ОПО МП.

3.3 Методика проведения и результаты специализированных экспериментов-преобразования по исследованию разрушения бетонных образцов

Лабораторные образцы представлены кубами размерами 100×100×100 мм по ГОСТ 10180 [88], изготовленными из тяжелого бетона класса прочности на осевое сжатие В15, В25, В40 и В80. Из каждого класса бетона изготавливалось три серии образцов. В каждой серии насчитывалось по 12 образцов-кубов.

Для изготовления лабораторных образцов использованы материалы:

- портландцемент типа ЦЕМ I, класса прочности 42,5, нормальноотвердеющий по ГОСТ 31108 [92], изготовленный на Магнитогорском цементно-огнеупорном заводе;
- щебень кубовидный марки по дробимости 1400 и фракции 5-20 мм по ГОСТ 8267 [95], место добычи: Гумбейский гранитный карьер;
- песок мытый, сеяный фракции 0-5 мм по ГОСТ 8736 [96], место добычи: Наровчатский песчаный карьер;
- модификатор бетона «Эмбэлит» 0-100, по ГОСТ Р 56178 [104];
- суперпластифицирующая и суперводоредуцирующая добавка Sika ViscoCrete-5-600 SP по ГОСТ 24211 [91];

– вода питьевая водопроводная по ГОСТ Р 51232 [101] при температуре 20-22 °С.

С целью получения лабораторных образцов из бетона различной прочности на сжатие создана математическая модель кубиковой прочности бетона R (функция отклика) с влияющими на него факторами

$$R = f(X_1, X_2, X_3, X_4), \quad (3.1)$$

где R – значение кубиковой прочности бетона на осевое сжатие, МПа; X_1, X_2, X_3, X_4 – варьируемые параметры.

При планировании эксперимента принято представлять неизвестную функцию, описывающую поведение выходного параметра, в виде полинома, как правило, второй степени [33].

При числе факторов, равном четырем, уравнение принимает вид

$$R = b_0 + \sum_{i=1}^4 b_i X_i + \sum_{i=1}^4 b_{ii} X_i^2 + \sum_{\substack{i=1, j=1, \\ i \neq j, i > j}}^4 b_{ij} X_i X_j, \quad (3.2)$$

где R – значение функции отклика, предсказанное уравнением; b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} – коэффициенты регрессии; X_i, X_j – варьируемые параметры; $i, j = \overline{1; 4}$.

Для описания искомой зависимости полиномом второго порядка в план включены дополнительные точки для увеличения количества уровней каждого фактора. При планировании эксперимента по подбору состава бетонной смеси использовался композиционный ротатабельный план. Основу такого плана составляет полный факторный эксперимент линейного приближения типа 2^k , дополненный определенным количеством специально расположенных «звёздных» точек. «Звёздные» точки характеризуются величиной звездного плеча α , определяющего расстояние от них до центра эксперимента. Третью группу образуют опыты в нулевой точке – «центральные» точки.

С целью подбора состава высокопрочного, самоуплотняющегося, напрягающего бетона выбрано четыре варьируемых показателя: масса цемента, водоцементное отношение, отношение массы пластификатора к массе цемента, отношение массы модификатора к массе цемента. Также определены два неизменяе-

мых материала – масса песка и масса щебня.

Вид материалов и изготовленных образцов представлен на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Вид материалов и изготовленных образцов: 1, 2 – модификатор бетона «Эмбэлит»; 3 – щебень; 4 – песок мытый; 5, 6 – портландцемент; 7 – вода питьевая с пластификатором

Уровни варьирования показателей представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Уровни варьирования показателей

№ п/п	Наименование варьируемого показателя	Обозначение	Значение варьируемого показателя				
			+2	+	0	-	-2
1	Масса цемента, кг на 1000 л	С	520	490	460	430	400
2	Водоцементное отношение	W/C	0,42	0,4	0,38	0,36	0,34
3	Отношение пластификатора к массе цемента	P/C	0,017	0,016	0,015	0,014	0,013
4	Отношение модификатора к массе цемента	M/C	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1

В таблице 3.5 введены обозначения: «+» – уровень показателя максимальный; «-» – уровень показателя минимальный; «0» – уровень показателя нулевой; «+2», «-2» – уровень показателя, соответствующий значению «звёздных» точек.

Проведение испытаний образцов проводилось согласно плану, приведенному в таблице 3.6. Матрица планирования включает полный факторный эксперимент типа 2^4 , основные (с 1 по 16) и дополнительные (с 17 по 24) опыты с звездным плечом $\alpha \cong 2^{(k/4)} \cong 2^{(4/4)} = 2,0$ и опыты (с 25 по 31) в нулевой точке. Количество опытов, которые необходимо провести в нулевой точке, и количество звездных точек принято в соответствии с [128].

Таблица 3.6 – Матрица планирования эксперимента

Номер состава	Уровень показателя				Номер состава	Уровень показателя			
	С	W/C	P/C	M/C		С	W/C	P/C	M/C
1	+	+	+	+	17	2	0	0	0
2	–	+	+	+	18	-2	0	0	0
3	+	–	+	+	19	0	2	0	0
4	–	–	+	+	20	0	-2	0	0
5	+	+	–	+	21	0	0	2	0
6	–	+	–	+	22	0	0	-2	0
7	+	–	–	+	23	0	0	0	2
8	–	–	–	+	24	0	0	0	-2
9	+	+	+	–	25	0	0	0	0
10	–	+	+	–	26	0	0	0	0
11	+	–	+	–	27	0	0	0	0
12	–	–	+	–	28	0	0	0	0
13	+	+	–	–	29	0	0	0	0
14	–	+	–	–	30	0	0	0	0
15	+	–	–	–	31	0	0	0	0
16	–	–	–	–					

Значение прочности бетона как показателя основной количественной характеристики качества определялось согласно методике, приведенной в ГОСТ 10180 [88]: методом визуально-измерительного контроля определялись значения параметров качества поверхности и геометрических размеров лабораторных образцов и фактическая площадь их поперечного сечения, мм²; по результатам эксперимента определялось минимальное разрушающее усилие, кН; рассчитывалась величина напряжения разрушения с точностью до 0,1 МПа (временное сопротивление образца осевому сжатию) согласно выражению

$$R = \alpha \frac{F}{A} K_w, \quad (3.3)$$

где F – минимальное разрушающее усилие, Н; A – площадь рабочего сечения образца, мм²; α – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы; K_w – поправочный коэффициент для ячеистого бетона, учитывающий влажность образцов в момент испытания (в наших испытаниях использован тяжелый бетон, $K_w=1$).

В соответствии с ГОСТ 10180 [88] и ГОСТ 18105 [90] фактический класс бетона по прочности рассчитан по формулам:

$$B_\phi = R_m - k_s S_m, \quad (3.4)$$

где k_s – коэффициент, принимаемый в зависимости от числа единичных значений прочности бетона в контролируемой конструкции; R_m – среднее значение прочности бетона, МПа; S_m – среднеквадратическое отклонение прочности бетона, МПа;

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (3.5)$$

где R_i – единичное значение прочности бетона, МПа; n – общее число единичных значений прочности бетона;

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n - 1}}, \quad (3.6)$$

где R_i – единичное значение прочности бетона, МПа; R_m – среднее значение прочности бетона, МПа; n – общее число единичных значений прочности бетона.

Результаты испытаний одной из серий годных по визуально-измерительному контролю образцов размером 100×100×100 мм при значении масштабного коэффициента 0,95 приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Результаты испытания контрольных образцов-кубов по прочности на осевое сжатие

Показатель	Номер образца					
	1	2	3	4	5	6
Минимальное разрушающее усилие, кН	985,1	972,3	957,0	964,2	945,2	994,6
Прочность бетона на осевое сжатие R_i , МПа	93,6	92,4	91,0	91,6	89,8	94,5
Среднее значение прочности бетона на осевое сжатие R_m , МПа	92,1					
Класс бетона по прочности на осевое сжатие по ГОСТ 18105-2018	B80					

После обработки полученных данных по формулам, приведенным в [3, 33, 56, 71, 122, 128, 310, 337, 357], получена следующая зависимость

$$R = 1322,5 + 12,34 \cdot Q_{\text{ц}} - 23,79 \cdot Q_{\text{в}} + 104,26 \cdot Q_{\text{п}} + 14 \cdot Q_{\text{в}} + 0,006 \cdot Q_{\text{ц}} \cdot Q_{\text{в}} + \\ + 0,09 \cdot Q_{\text{ц}} \cdot Q_{\text{п}} - 0,005 \cdot Q_{\text{ц}} \cdot Q_{\text{в}} - 0,19 \cdot Q_{\text{в}} \cdot Q_{\text{п}} - 0,007 \cdot Q_{\text{в}} \cdot Q_{\text{п}} - 0,17 \cdot Q_{\text{п}} \cdot Q_{\text{в}} - \\ - 0,014 \cdot Q_{\text{ц}}^2 - 0,011 \cdot Q_{\text{в}}^2 - 9,14 \cdot Q_{\text{п}}^2 - 0,03 \cdot Q_{\text{в}}^2, \quad (3.7)$$

где R – значение кубиковой прочности бетона на осевое сжатие, МПа; $Q_{\text{ц}}$ – количество цемента, кг; $Q_{\text{в}}$ – количество воды, кг; $Q_{\text{п}}$ – количество пластификатора, кг; $Q_{\text{м}}$ – количество модификатора бетона, кг.

С использованием построенной математической модели составлены номограммы зависимости прочности бетона от варьируемых факторов (рисунок 3.5).

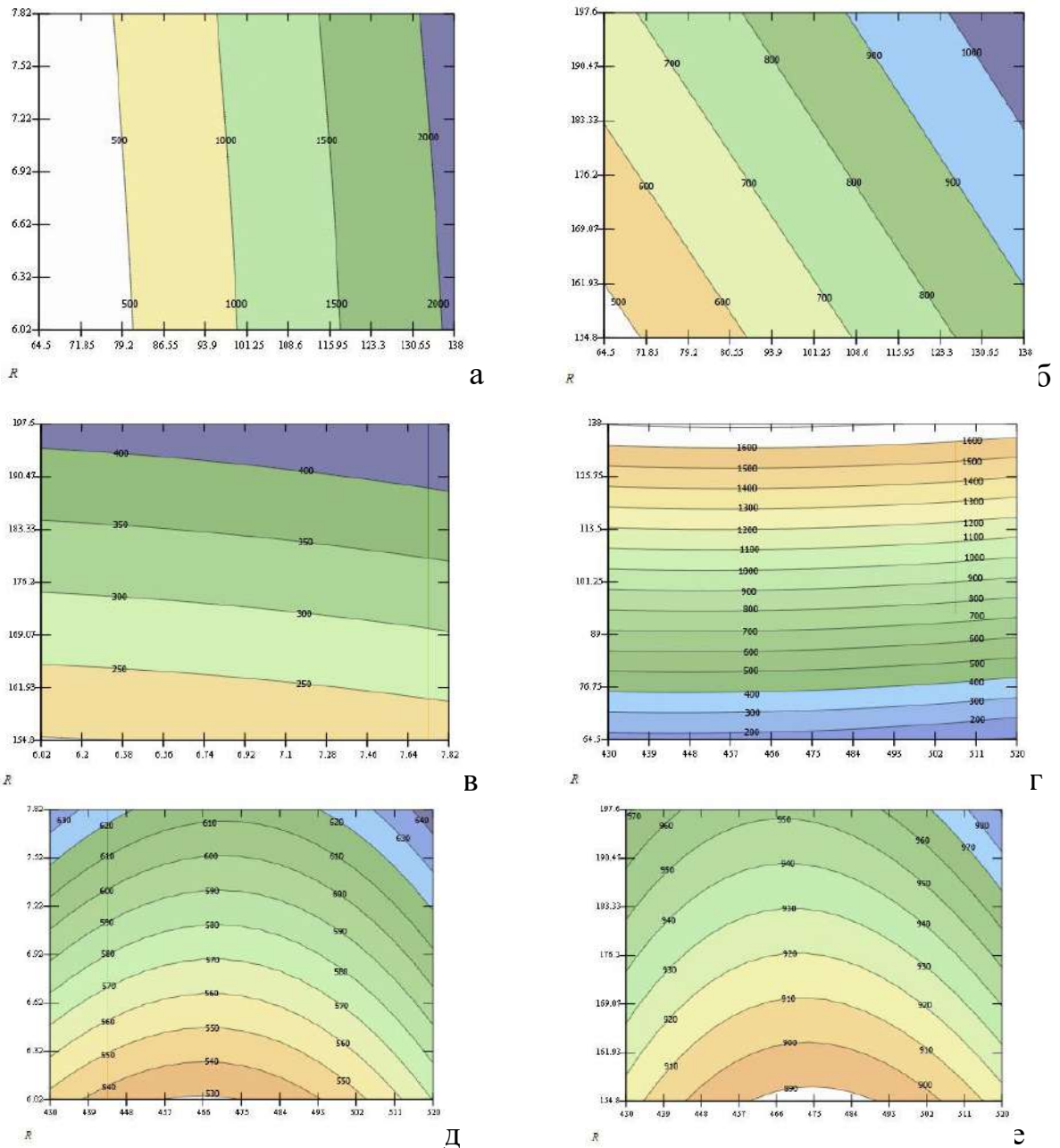


Рисунок 3.5 – Номограммы зависимости прочности бетона от варьируемых факторов: а – функции $R(Q_3, Q_П)$, где $Q_3 \in [64,5 \div 138,0]$, $Q_П \in [6,02 \div 7,82]$; б – функции $R(Q_3, Q_B)$, где $Q_3 \in [64,5 \div 138,0]$, $Q_B \in [154,8 \div 197,6]$; в – функции $R(Q_П, Q_B)$, где $Q_П \in [6,02 \div 7,82]$, $Q_B \in [154,8 \div 197,6]$; г – функции $R(Q_П, Q_3)$, где $Q_П \in [430,0 \div 520,0]$, $Q_3 \in [64,5 \div 138,0]$; д – функции $R(Q_П, Q_П)$, где $Q_П \in [430,0 \div 520,0]$, $Q_П \in [6,02 \div 7,82]$; е – функции $R(Q_П, Q_B)$, где $Q_П \in [430,0 \div 520,0]$, $Q_B \in [154,8 \div 197,6]$

Использование в ходе экспериментов по исследованию разрушения бетонных образцов средств видеозаписи позволило сформировать новую структуру информационного поля испытаний (рисунок 3.6) [1, 150]. Структура нового информационного поля испытаний включает три основных уровня (1, 2, 4) и один функциональный блок (3). Первый уровень предназначен для организации хранения данных, полученных в ходе проведения эксперимента, и их структурирования. Уровень анализа данных предполагает извлечение необходимой первичной информации, выполнение анализа данных на основе простых расчетов или подсчета с помощью традиционных методов и с использованием новых информационных технологий. Третий уровень предполагает генерацию новых знаний на основе консолидированных данных, которые ранее не рассматривались в традиционных нормативных документах. Например, оценка времени развития дефектов до достижения их критического развития.



Рисунок 3.6 – Структура информационного поля испытаний бетонных образцов

Вопросы консолидации информации и алгоритма генерации новых знаний являются перспективным направлением работы, построенные на результатах экспериментальных исследований. Видеозапись экспериментов по разрушению образцов позволила выполнить изучение изменения сплошности поверхности после завершения стадии активного натурного эксперимента.

На рисунке 3.7 приведены фрагменты видеопотока, отражающие ключевые переходные точки в динамике разрушения образца.

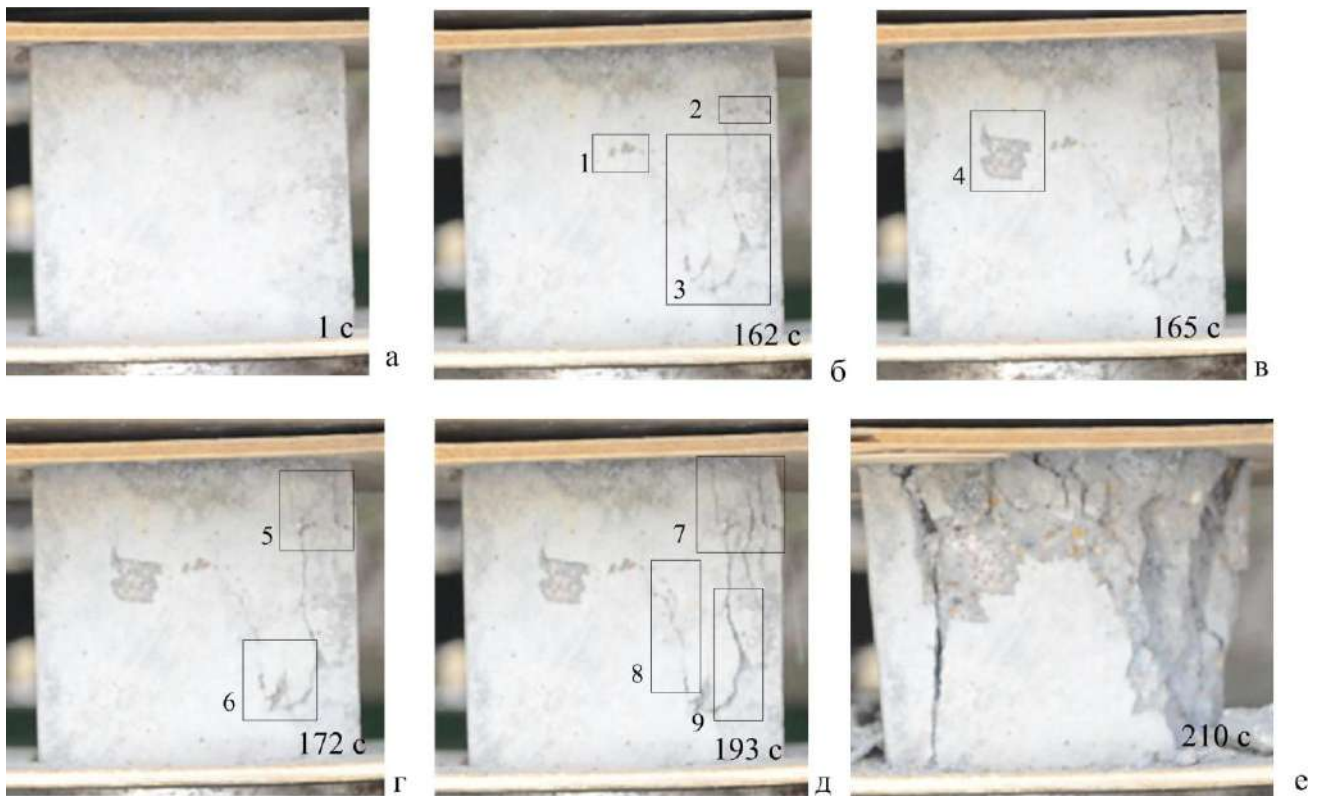


Рисунок 3.7 – Фрагменты видеопотока с ключевыми переходами разрушения

На рисунке 3.7 выбраны и приведены состояния разрушения образца согласно экспертной оценке: а – бездефектный образец; б, в, г – образец в начальной стадии механизма разрушения; д – образец в состоянии, предшествующему полному разрушению; е – образец после разрушения: 1, 2 – скалывание небольших участков бетона на поверхности образца; 3 – появление микроскопических и видимых трещин; 4 – скалывание больших участков бетона на поверхности образца; 5 – 8 – зарождающиеся, растущие, раскрывающиеся и соединяющиеся видимые трещины; 9 – трещина с максимальным раскрытием.

Изучение видеопотока позволило получить новые знания о состоянии и динамике качества материалов конструкций элементов ОПО с применением инструментов ПЦП: фаза активного разрушения образца в общем интервале времени испытания, количество центров начала разрушения на поверхности образца, расположенных случайным образом, абсолютные и относительные значения параметров дефектов и повреждений в текущем моменте времени, их прирост, динамика изменения. На рисунке 3.8 представлена динамика параметров и количества видимых дефектов и повреждений во времени: максимальной ширине раскрытия

трещин и количестве значимых дефектов, не поддающихся непосредственному измерению при органолептическом контроле.

Алгоритмы пороговой обработки изображения позволяют определять границы образца и формирования трещин даже при низкой контрастности кадров видеопотока, а также сопоставить изображения реального мира с постобработанными кадрами.

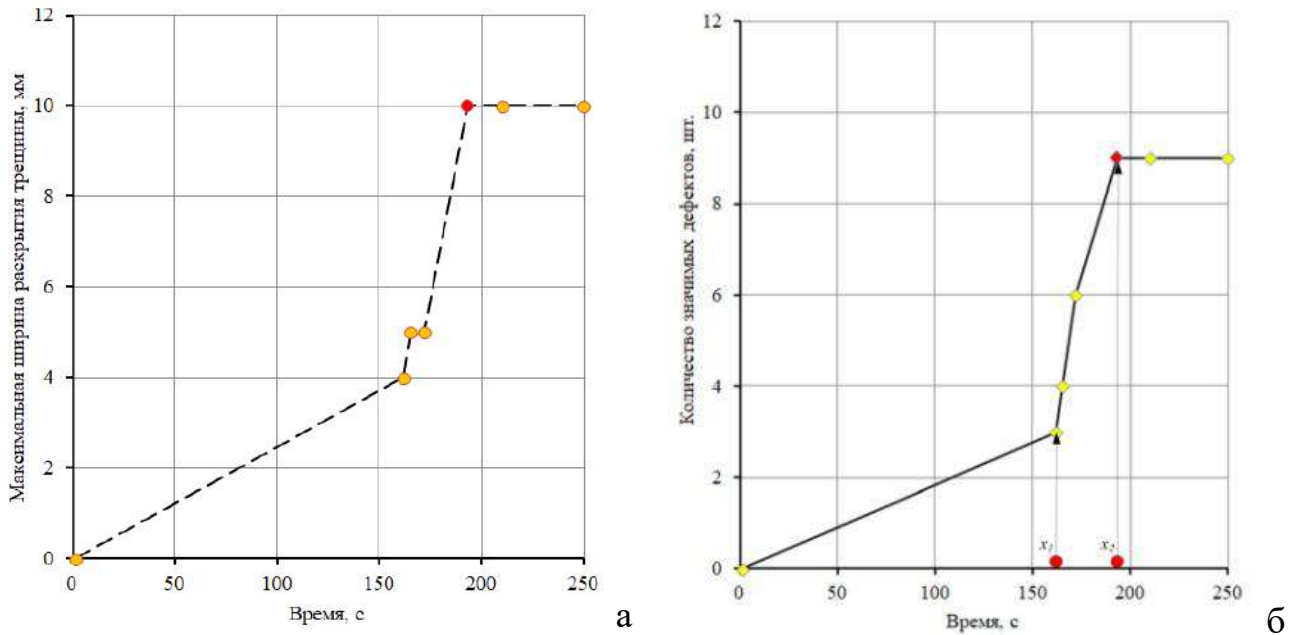


Рисунок 3.8 – Графическое отделение интервала времени активного разрушения образцов: а – максимальная ширина раскрытия трещины, мм;

б – количество значимых дефектов; x_1 – время начала разрушения;

x_2 – время полного разрушения

Данные, представленные на рисунке 3.8, демонстрируют медленный рост в начале исследуемой области, ускоренный рост, точку перелома, переход от ускоренного роста к замедленному. Вид полученных зависимостей позволяет преобразовать значение показателей качества в квалиметрические оценки с сохранением природы зависимости

$$x_i(t) \xrightarrow{f} \mu_i(x_i(t)), \quad (3.8)$$

где x_i – наименование i -го показателя качества; $\mu(x_i)$ – квалиметрическая оценка i -го показателя качества; f – отображение, построенное на основе экспертных знаний или аналитических зависимостей.

Применение S-образных кривых для оценки качества и правил принятия решений позволяет повысить результативность функционирования системы управления качеством элементов ОПО МП на основе современной методологии ее создания и цифрового инструментария.

По результатам планирования эксперимента подобраны требуемые составы бетона. Составы бетона В40 и В80 приведены в таблицах 3.8 и 3.9.

Таблица 3.8 – Состав высокопрочного самоуплотняющегося напрягающего бетона класса В40

№ п/п	Наименование компонента	Насыпная плотность материала, кг/м ³	Масса, кг на 1 м ³
1	Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н	3100	420,8
2	Модификатор бетона «Эмбэлит» 0-100	2200	84,2
3	Суперпластификатор Sika ViscoCrete-5-600 SP	1100	6,3
4	Песок	2600	714,3
5	Щебень	2600	958,9
6	Вода	1000	176,7

Таблица 3.9 – Состав высокопрочного самоуплотняющегося напрягающего бетона класса В80

№ п/п	Наименование компонента	Насыпная плотность материала, кг/м ³	Масса, кг на 1 м ³
1	Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н	3100	520,0
2	Модификатор бетона «Эмбэлит» 0-100	2200	104,0
3	Суперпластификатор Sika ViscoCrete-5-600 SP	1100	8,32
4	Песок	2600	689,7
5	Щебень	2600	925,9
6	Вода	1000	156,0

Лабораторные образцы представлены различными классами бетона по прочности на осевое сжатие: обычной прочности (В15, В25, В40) и высокопрочные (В80). Заливка образцов-кубов производилась из одной партии бетона. Их испытания проводились в один день. В указанных условиях возраст бетона и его прочностные показатели условно одинаковы для оценки механизма разрушения контрольных образцов под нагрузкой.

Для проведения испытаний образцы устанавливались на нижнюю опорную плиту прессы по центру продольной оси. После установки образца на нижнюю

опорную плиту испытательной машины выполнялось совмещение верхней плиты испытательной машины с верхней опорной гранью образца так, чтобы их плоскости полностью прилегали одна к другой. Для устранения влияния концентрации напряжений на границах соприкосновения образцов с плитами испытательной машины использовались компенсирующие прокладки (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Лабораторная установка для проведения исследований: а – общий вид лабораторной установки; б – натуральный образец; в – схема исследования

На рисунке 3.9 введены обозначения: 1, 2 – верхняя и нижняя плиты испытательной машины; 3 – компенсирующие прокладки; 4 – образец; 5 – профессиональная цифровая фотокамера; 6 – поверхность образца, входящая в видеопоток; 7 – фон, входящий в кадры видеопотока; 8 – усилия, действующие на образец.

Образец нагружался до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки ($0,6 \pm 0,2$) МПа/с. Для каждого класса бетона исследовано три серии образцов, по 12 образцов-кубов в серии. В ходе исследований получены цифровые данные: фото- и видеопоток, позволяющие зафиксировать момент зарождения поверхностных дефектов, динамику их развития вплоть до разрушения контрольных образцов. С целью последующего учета изменения условий освещения при фото- и видеосъемке реальных зданий и сооружений на ОПО производилось изменение освещения одновременно с испытаниями лабораторных образцов.

Вид лабораторных образцов при испытании в различных условиях освещения представлен на рисунке 3.10.

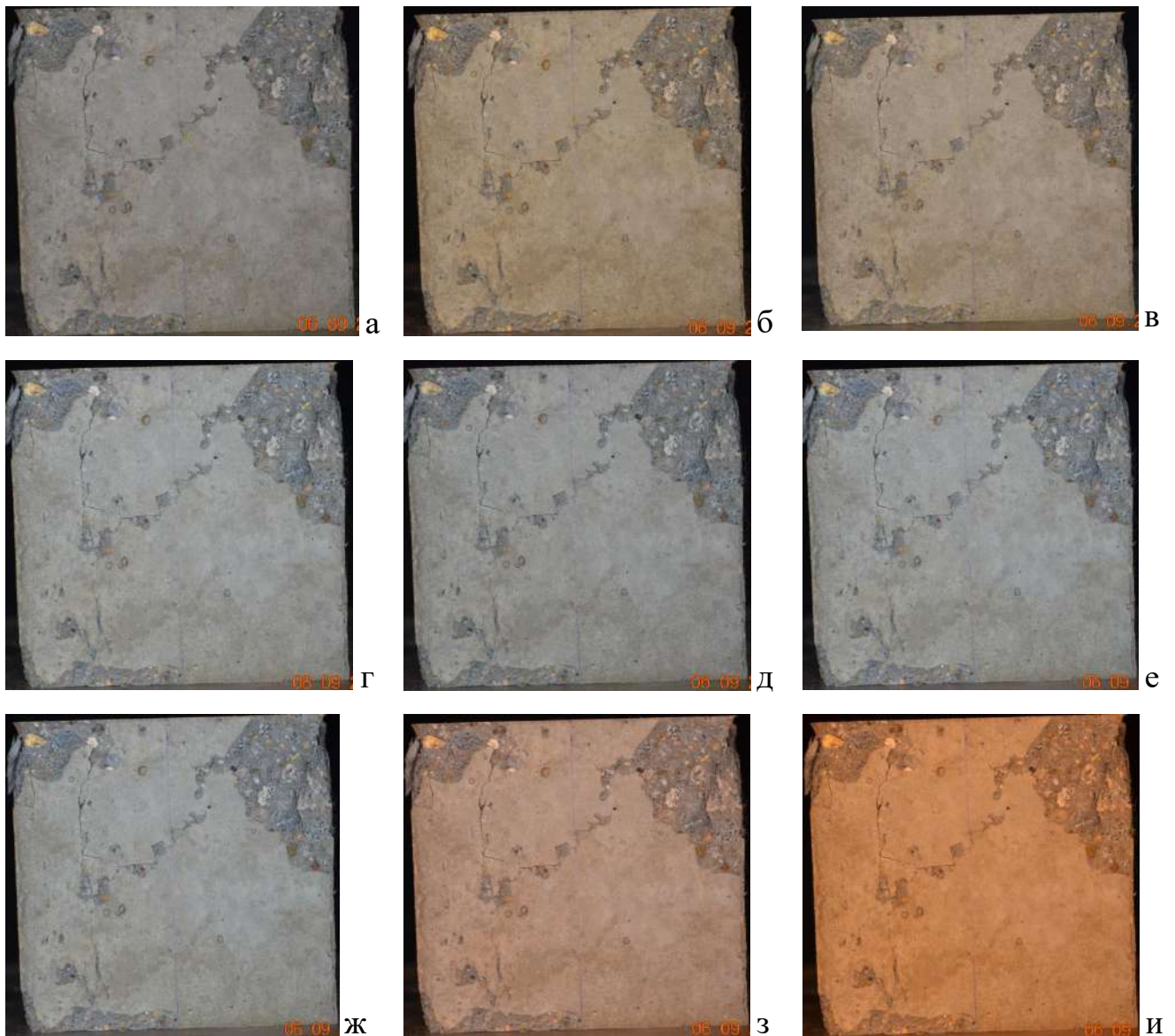


Рисунок 3.10 – Вид лабораторных образцов при испытании в различных условиях освещения: а – НО максимально; б – НО минимально; в – ТП максимально; г – ТП минимально; д – ТП минимально; е – ХЛ минимально; ж – ХЛ средне; з – НО средне; и – ТП средне

На рисунке 3.10 введены обозначения: ХЛ – холодный свет; ТП – теплый свет; НО – нейтральное освещение; минимально, максимально, средне – уровни яркости искусственного освещения.

3.4 Определение ключевых показателей качества функционирования элементов опасных производственных объектов на примере ПАО «ММК»

Для проведения пилотажного эксперимента выбраны здания и сооружения на ОПО ПАО «ММК», в том числе с железобетонными несущими и (или) ограждающими конструкциями.

В соответствии с положениями нормативных документов [97, 102, 103] жизненный цикл определяется как совокупность взаимосвязанных процессов изменения состояния продукции при ее создании, использовании (эксплуатации) и ликвидации с избавлением от отходов путем их утилизации и (или) удаления.

Федеральным законом [300] определено понятие жизненного цикла здания и сооружения. Анализ стадий жизненного цикла технических устройств, зданий и сооружений, эксплуатируемых на ОПО МП, позволил уточнить схему их жизненного цикла (рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Схема классификации стадий жизненного цикла элементов ОПО МП

Из анализа данных, представленных на рисунке 3.11, следует, что основной стадией жизненного цикла технических устройств, зданий и сооружений, эксплуатируемых на ОПО МП, является стадия эксплуатации. Именно на стадии эксплуатации технические устройства, здания и сооружения выполняют свои функ-

ции в составе ОПО, возникают дефекты и повреждения, проводится производственный контроль качества, выполняется экспертиза сторонними организациями, лицензированными согласно требованиям [370].

В работах [5, 6, 8, 17-19, 24, 73, 218-221, 224, 227, 230, 231, 234, 235, 244, 260] рассмотрен ряд показателей качества технических устройств, зданий и сооружений, эксплуатируемых на ОПО МП.

Базовыми показателями качества являются показатели, предусмотренные действующей нормативной и технической документацией и полученные традиционными методами: значения отклонений геометрических размеров элементов, прочностных и деформационных характеристик материалов, прогибов и перемещений конструкций, все виды разрушения материалов конструкций. Например, абсолютное значение прогиба подкрановой балки, значение физического или условного предела текучести стали стенки резервуара, остаточная толщина основного металла стенки промежуточного ковша и др.

Цифровыми показателями качества являются показатели, определяемые и оцениваемые с использованием ПЦП: наличие или отсутствие определенных элементов на цифровом изображении, абсолютные и относительные значения размеров обнаруженных дефектов и повреждений, их прирост, динамика изменения. Например, скорость роста длины трещины подкрановой балки, скорость увеличения раскрытия трещины подкраново-подстропильной фермы, площадь коррозии или разрушения защитных покрытий дымовых труб, отношение площади поврежденной поверхности к общей площади элементов конструкций и др.

Дефекты и повреждения элементов ОПО разделены на *явные* (выявляемые, как правило, органолептическим методом на стадии визуального или визуальном измерительного контроля) и *скрытые* (неподдающиеся выявлению на стадии осмотра или визуального контроля объекта) [89]. Примером *явных* дефектов и повреждений являются: разрушения поверхности несущих и ограждающих конструкций в виде трещин, сколов, следов коррозии, пылевых и иных отложений; значительные выгибы, прогибы, отклонения от вертикали, смещения опорных поверхностей, наружные дефекты сварных соединений, видимые перемещения,

осадки и прочее. Примером *скрытых* дефектов и повреждений являются: низкая прочность материалов конструкций, внутренние дефекты сварных соединений и основного металла, сплошность монолитного железобетона и т.д.

В соответствии с [247, 248] дефекты и повреждения железобетонных несущих и ограждающих конструкций производственных зданий и сооружений, эксплуатируемых на ОПО МП, разделены на две группы (рисунок 3.12).



Рисунок 3.12 – Схема классификации дефектов и повреждений несущих конструкций элементов ОПО, эксплуатируемых на МП

До 90% дефектов и повреждений являются явными. Вероятность выявления явных дефектов и повреждений зависит от труднодоступности участков их расположения для персонала, осуществляющего контроль. Кроме того, дефекты и повреждения образуются в межинспекционный интервал. Следовательно, для формирования адекватной и актуальной картины разрушения необходимы результаты непрерывного или дискретного мониторинга за состоянием элементов ОПО в целом или его отдельных частей с использованием средств дистанционного контроля, например БПЛА [214, 232].

Схема классификации дефектов и повреждений железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений, выявляемых визуальным осмотром, представлена на рисунке 3.13.

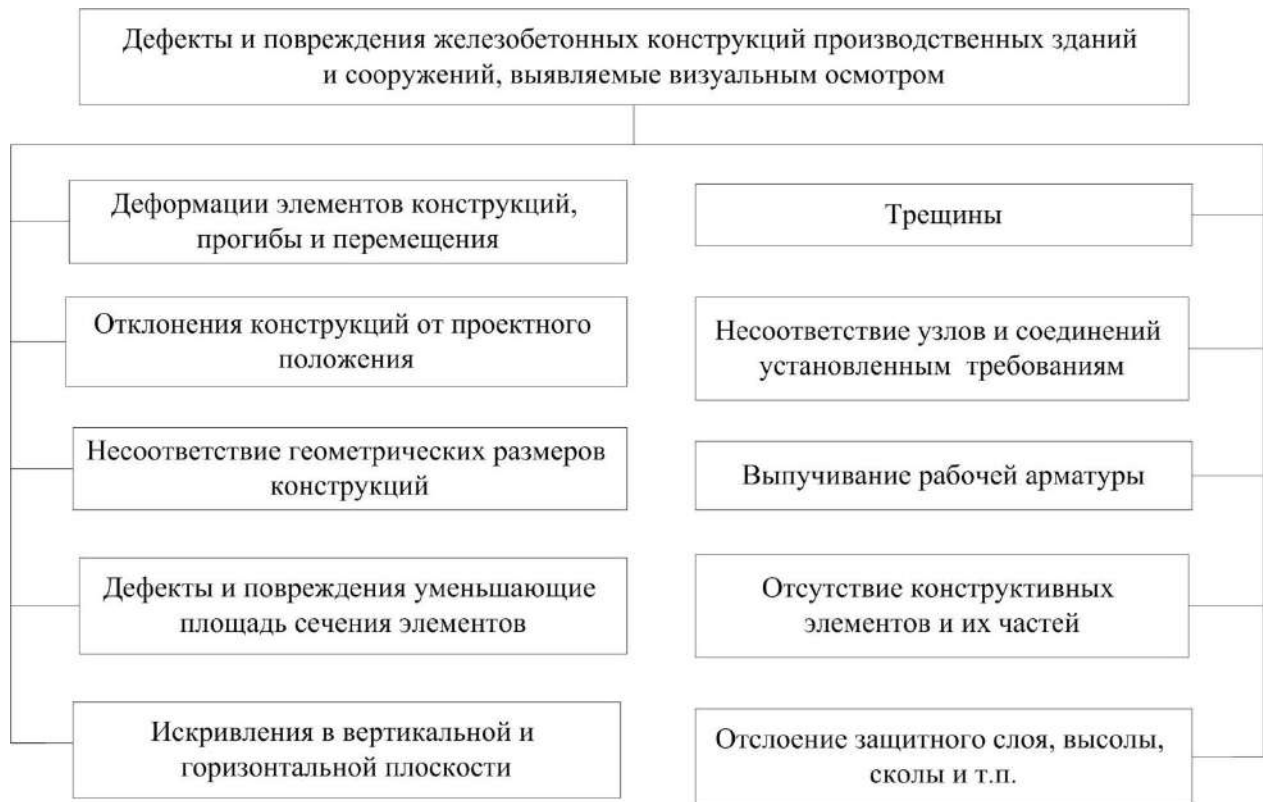


Рисунок 3.13 – Схема классификации дефектов и повреждений железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений, выявляемых визуальным осмотром

Особенностью дефектов и повреждений, выявляемых визуальным осмотром, являются их относительно большие размеры, позволяющие определить их персоналу, осуществляющему контроль без применения средств измерения.

В соответствии с [63, 93, 124, 125, 247, 248] при визуальном осмотре несущих и ограждающих конструкций определяется нарушение сплошности в виде трещин, поскольку их наличие на определенных участках свидетельствует о возможном ухудшении категории технического состояния. Устанавливаются параметры трещин: *ширина раскрытия*, *длина* и *расположение*. Для большинства нормально армированных железобетонных элементов разрушение начинается с образования видимых трещин. По характеру трещин можно определить причины

их образования, степень опасности текущего состояния и спрогнозировать поведение конструкции на перспективу.

Примеры явных дефектов и повреждений, выявленных в ходе проведения пилотажного эксперимента-обследования, представлены на рисунке 3.14.

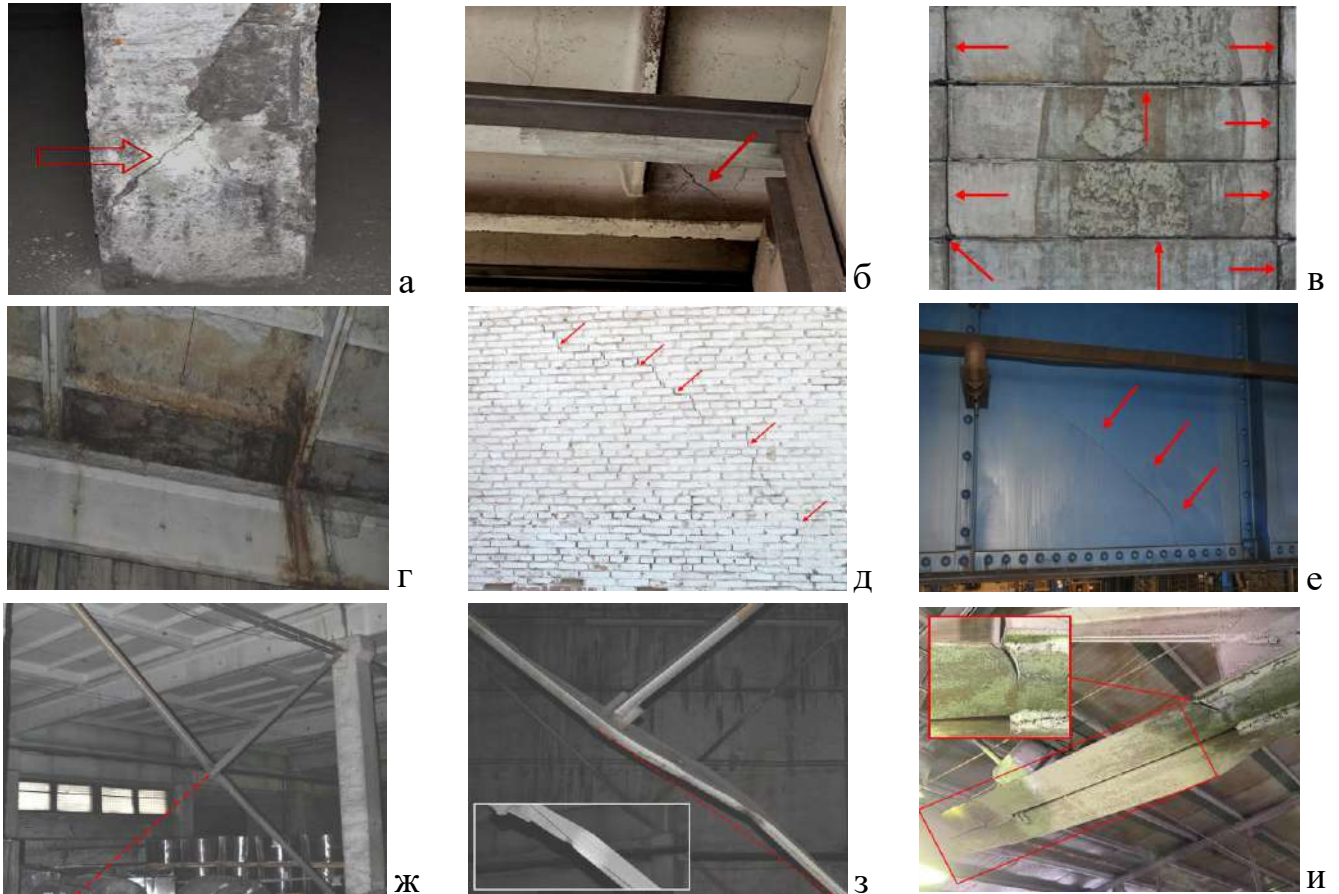


Рисунок 3.14 – Примеры явных дефектов и повреждений, выявленных в ходе проведения пилотажного эксперимента-обследования: а – сквозная наклонная трещина в теле железобетонной колонны, сколы наружной поверхности бетона с оголением рабочей арматуры; б – наклонная трещина в продольном ребре железобетонной панели покрытия; в – разрушение элементов уплотнения швов навесных стеновых панелей; г – замачивание плит покрытия с разрушением защитного слоя бетона и коррозией арматуры; д – наклонная трещина в каменной кладке наружного стенового ограждения; е – трещина в металлической подкрановой балке; ж – отсутствие ветви связей по колоннам; з – деформация (погибы) ветвей связей по колоннам; и – трещина в уголке нижнего пояса стропильной фермы покрытия, деформация нижнего пояса стропильной фермы

Согласно [63, 124, 125] раскрытие трещин в растянутой зоне до величины 0,3 мм указывает на нормальную работу элемента железобетонной конструкции под полной нагрузкой. Раскрытие трещин в растянутой зоне свыше 0,5 мм свидетельствует о перегрузке конструкции с образованием остаточных пластических деформаций в арматуре и нарушении сцепления арматуры с бетоном. Раскрытие трещин в растянутой зоне более 2 мм до нескольких сантиметров свидетельствует о разрушении конструкции с возможным разрывом арматуры, при этом конструкцию следует считать находящейся в аварийном состоянии.

Визуально можно заметить и прогибы конструкций, значительно превышающие установленные предельные абсолютные значения, установленные в [349].

Показатели качества элементов ОПО определяются исходя из положений нормативных правовых актов, стандартов и иной технической документации, устанавливающих требования к объекту экспертизы.

Набор цифровых показателей качества определяется необходимостью их применения при экспертной оценке согласно нормативным документам и возможностью получения информации об их формировании с помощью инструментов новой ПЦП. В первую очередь, к ним относятся характеристики видимых дефектов и повреждений. В этот перечень входят:

а) нарушения сплошности материалов конструкций, выходящие на поверхность исследуемого объекта: количество трещин на единицу площади поверхности, ширина раскрытия трещин, протяженность отдельных трещин, суммарная протяженность трещин, сквозные и объемные повреждения, доля поверхности, имеющей повреждения;

б) уменьшение фактических размеров расчетных сечений конструкций и их элементов;

в) поверхностные дефекты и повреждения: выпучивание рабочей арматуры, отслоение защитного слоя, высолы, сколы и т.п.;

г) прогибы и перемещения;

д) отклонение конструкций от проектного положения;

- е) искривления в вертикальной и горизонтальной плоскости;
- ж) несоответствие узлов и соединений установленным требованиям;
- з) отсутствие конструктивных элементов и их частей.

Преимуществом использования цифровых показателей качества является отсутствие влияния субъективной оценки эксперта при их получении, обработке и анализе.

Таким образом, на стадии эксплуатации элементов ОПО накапливаются и развиваются дефекты и повреждения различного характера и категорий опасности, связанные с технологическими особенностями МП. При этом большая часть дефектов и повреждений определяется визуально, как органолептическим методом контроля, так и с использованием технических средств, включая БПЛА.

Необходим мониторинг за состоянием элементов ОПО на основном этапе их жизненного цикла путем организации и проведения производственного контроля с применением передовых эффективных методов и средств контроля и оценки качества с последующим прогнозированием их будущего состояния.

3.5 Разработка метода интегративной оценки качества функционирования элементов опасных производственных объектов

Суть метода состоит в том, что для повышения результативности экспертизы элементов ОПО требуется выполнить дополнение системы базовых показателей таким образом, чтобы сохранить их смысл согласно нормативным документам и дополнить новыми знаниями, полученными при использовании новых инструментов ПЦП.

Отличительными признаками метода интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО являются:

- 1) уровень 1: определение лингвистической переменной и ее терм, разделение показателей качества на две группы – базовые и цифровые;
- 2) уровень 2: получение решения для компонент 1-го уровня для базовых и цифровых показателей качества;

3) уровень 3: использование принципа суперпозиции для гармонизации решения, полученного на основе базовых показателей качества, с учетом квалиметрических значений цифровых показателей. Установление вывода о соответствии (не в полной мере соответствие, несоответствие) элементов ОПО требованиям стандартов, исходя из соотнесения принятого решения (*Status;*) нормативным требованиям.

Термин «Суперпозиция» для разрабатываемого метода используется для гармонизации информации на основе базовых и цифровых показателей качества функционирования элементов ОПО и представления результирующего эффекта в виде коррекции рангов с учетом приоритетности в условиях выполнения экспертной оценки, обеспечивая гармонизацию субъективных экспертных оценок качества функционирования элементов ОПО МП, полученными традиционными методами, с объективными цифровыми данными.

Условием применимости метода интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО является наличие результатов экспериментального обследования объектов, полученных органолептическим методом и с использованием новых инструментов ПЦП, позволяющих получить их цифровую тень.

Результатом применения метода интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО является вывод о соответствии (не в полной мере соответствие, несоответствие) элементов ОПО требованиям стандартов и перечень рекомендаций по их приведению в состояние, соответствующее нормативным требованиям.

Преимуществом метода интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО является исключение процедуры свертки оценок показателей качества.

Для описания метода введены соответствующие обозначения (таблица 3.10) и определена структура лингвистической переменной.

Таблица 3.10 – Перечень обозначений для структуры лингвистической переменной

№	Наименование	Обозначение	Состав
1	Лингвистическая переменная	U_0	Решение эксперта о мероприятиях на ОПО
2	Компонента 1-го уровня	Y_1	Решение эксперта, принятое на основе базовых показателей качества
3	Компонента 1-го уровня	Y_2	Решение эксперта, принятое на основе цифровых показателей качества
4	Компоненты 2-го уровня: базовые показатели качества функционирования элементов ОПО (<i>Basic quality indicators</i>)	$BQI_i, i = \overline{1, n}$	Упорядоченный набор базовых показателей качества функционирования элементов ОПО с учетом приоритетности
5	Компоненты 2-го уровня: цифровые показатели качества функционирования элементов ОПО (<i>Digital quality indicators</i>)	$DQI_j, j = \overline{1, m}$	Набор цифровых показателей качества функционирования элементов ОПО с учетом приоритетности
6	Термы базовых показателей качества функционирования элементов ОПО (<i>Terms of basic quality indicators</i>)	$TBQI_i, i = \overline{1, k}$	Структурированный матроид значений для базовых показателей качества $TBQI_i = \ VB_i, \alpha_i\ $, где VB_i – значение компоненты; α_i – ранг приоритетности компоненты, установленный на основе оценки эксперта
7	Термы цифровых показателей качества функционирования элементов ОПО (<i>Terms of digital indicators of quality</i>)	$TDQI_j, j = \overline{1, l}$	Структурированный матроид значений для цифровых показателей качества $TDQI_j = \ VD_j, \beta_j\ $, где VD_j – значение компоненты; β_j – ранг приоритетности компоненты, установленный на основе оценки эксперта
8	Функция суперпозиции	h	Функция преобразования решения с учетом новых знаний, полученных на основе показателей ПЦП

Ранги α_i и β_j позволяют учесть отраслевые особенности экспертизы и, в частности, для МП.

С учетом введенных обозначений аналитическая запись метода имеет вид

$$U_0 = h \left(Y_2 \left(Y_1 \left(TBQI_i = \|VB_i, \alpha_i\| \right); TDQI_j = \|VD_j, \beta_j\| \right) \right). \quad (3.9)$$

Графически структура лингвистической переменной приведена на рисунке 3.15.

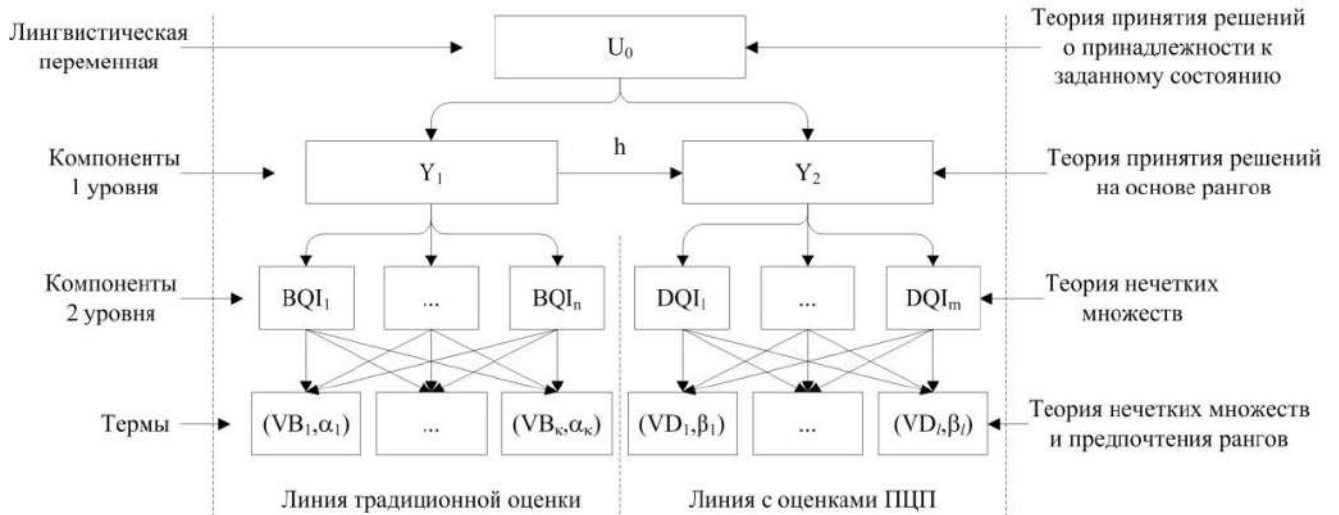


Рисунок 3.15 – Структура лингвистической переменной для экспертной оценки качества функционирования элементов ОПО

Количество компонент второго уровня в линии традиционной оценки с оценками ПЦП позволяет адаптировать структуру лингвистической переменной согласно техническому заданию на экспертизу от заказчика или по решению эксперта, выбирая наиболее опасные факторы.

По техническому заданию в рамках одной экспертизы может проводиться экспертная оценка по нескольким выбранным показателям качества и формироваться кортеж лингвистических оценок при принятии решений.

Применение лингвистической переменной для оценки качества функционирования элементов ОПО требует определения набора компонент второго уровня, их терм на основе нормативных документов и функций принадлежности объекта к заданному техническому состоянию с использованием знаний о свойствах компонент, результатах исследования и существующего экспертного опыта.

В таблице 3.11 приведены возможные термы лингвистической переменной, которые определены в нормативных документах при традиционной экспертной оценке.

Как показали результаты модельного и пилотажного экспериментов, развитие дефектов и повреждений на поверхности элементов ОПО имеют накопительный характер и для построения функции принадлежности объекта к заданному техническому состоянию для них использована методика построения функции принадлежности, характеризующей зависимость оценки от значений показателя

качества. Примеры построенных функций принадлежности объекта к заданному техническому состоянию для базовых показателей качества функционирования элементов ОПО приведены в Приложении В.

Таблица 3.11 – Перечень терм для лингвистической переменной согласно нормативным документам

№	Нормативный документ	Категории технического состояния – термины лингвистической переменной				
1	СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований фундаментов зданий и сооружений» [335]	Нормальное	Удовлетворительное	Неудовлетворительное	Предаварийное или аварийное	–
2	«Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам», 2001 [297]	Нормальное исправное	Удовлетворительное работоспособное	Не совсем удовлетворительное, ограниченно работоспособное	Неудовлетворительное (неработоспособное)	Аварийное
3	СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». Актуализированная редакция СНиП II-23-81* [348]	Нормативное	Работоспособное	Ограниченно работоспособное	Аварийное	–
4	ГОСТ 31937-2011. «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [93]	Нормативное	Работоспособное	Ограниченно работоспособное	Аварийное	–
5	СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» [334]	Исправное	Работоспособное	Ограниченно работоспособное	Недопустимое	Аварийное
6	ОРД «Техническая эксплуатация железобетонных конструкций производственных зданий» [247, 248]	Работоспособное	Ограниченно работоспособное	Неработоспособное (аварийное)		
7	РД 22-01.97 «Требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений поднадзорных промышленных производств и объектов» [293]	Работоспособное	Ограниченно работоспособное	Неработоспособное (аварийное)	–	–

Окончание таблицы 3.11

№	Нормативный документ	Категории технического состояния – термы лингвистической переменной				
		Исправное	Работоспособное	Неработоспособное	Предельное	Опасное
8	ГОСТ Р 27.102-2021 «Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения» [98]					

Наименования терм для лингвистической переменной согласно нормативным документам и их определения представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Наименования терм для лингвистической переменной согласно нормативным документам и их определения

№	Наименования терма	Сущность терма
СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований фундаментов зданий и сооружений» [335]		
1	I – нормальное состояние	Выполняются требования норм и проектной документации по условиям эксплуатации. Необходимость ремонтных работ отсутствует
2	II – удовлетворительное состояние	С учетом фактических свойств материалов удовлетворяются требования норм, относящиеся к предельным состояниям I группы; требования, относящиеся к предельным состояниям II группы, могут быть нарушены, но обеспечиваются нормальные условия эксплуатации. Требуется текущий ремонт с устранением локальных повреждений без усиления конструкций
3	III – неудовлетворительное состояние	Нарушены требования норм, но отсутствуют опасность обрушения и угроза безопасности людей. Требуется усиление и восстановление несущей способности поврежденных конструкций
4	IV - предаварийное или аварийное состояние	Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности конструкций к эксплуатации, об опасности их обрушения и опасности пребывания людей в зоне расположения конструкций
«Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам», 2001 [297]		
1	Нормальное исправное состояние	Отсутствуют видимые повреждения. Выполняются все требования действующих норм и проектной документации. Необходимости в ремонтных работах нет
2	Удовлетворительное работоспособное состояние	Несущая способность конструкций обеспечена, требования норм по предельным состояниям II группы и долговечности могут быть нарушены, но обеспечиваются нормальные условия эксплуатации. Требуется устройство антикоррозийного покрытия, устранение мелких повреждений
3	Не совсем удовлетворительное, ограниченно работоспособное состояние	Существующие повреждения свидетельствуют о снижении несущей способности. Для продолжения нормальной эксплуатации требуется ремонт по устранению поврежденных конструкций

Продолжение таблицы 3.12

№	Наименования термина	Сущность термина
4	Неудовлетворительное (неработоспособное) состояние	Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности к эксплуатации конструкций. Требуется капитальный ремонт с усилением конструкций. До проведения усиления необходимо ограничение действующих нагрузок. Эксплуатация возможна только после ремонта и усиления
5	Аварийное состояние	Существующие повреждения свидетельствуют о возможности обрушения конструкций. Требуется немедленная разгрузка конструкции и устройство временных креплений, стоек, подпорок, ограждений опасной зоны. Ремонт в основном проводится с заменой аварийных конструкций
СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» Актуализированная редакция СНиП II-23-81 [348]		
1	Нормативное состояние	При отсутствии дефектов и повреждений и соответствии всех требований проектной документации, действующим нормам и национальным стандартам
2	Работоспособное состояние	При наличии дефектов и повреждений локального характера, которые при последующем развитии не могут оказать влияния на несущую способность других элементов и конструкции в целом, и не ограничивают в конкретных условиях нормальную эксплуатацию здания или сооружения
3	Ограниченно-работоспособное состояние	При наличии дефектов и повреждений, не представляющих опасности внезапного разрушения или потери устойчивости конструкций, но могущих в дальнейшем вызвать повреждения других элементов и узлов конструкций, или (при развитии повреждения) перейти в категорию опасных, когда для обеспечения эксплуатации здания (сооружения) необходим контроль за состоянием конструкций, за продолжительностью их эксплуатации, за параметрами технологических процессов (например, ограничение грузоподъемности мостовых кранов) или требуется усиление конструкций
4	Аварийное состояние	При наличии дефектов и повреждений, свидетельствующих об исчерпании несущей способности особо ответственных элементов и соединений, представляющих опасность разрушения конструкций и могущих вызвать потерю устойчивости объекта в целом
ГОСТ 31937-2011. «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [93]		
1	Нормативное техническое состояние	Категория технического состояния, при котором количественные и качественные значения параметров всех критериев оценки технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, включая состояние грунтов основания, соответствуют установленным в проектной документации значениям с учетом пределов их изменения
2	Работоспособное техническое состояние	Категория технического состояния, при которой некоторые из числа оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта или норм, но имеющиеся нарушения требований в конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению работоспособности, и необходимая несущая способность конструкций и грунтов основания с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений обеспечивается

Продолжение таблицы 3.12

№	Наименования термина	Сущность термина
3	Ограниченно-работоспособное техническое состояние	Категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, включая состояние грунтов основания, при которой имеются крены, дефекты и повреждения, приведшие к снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения, потери устойчивости или опрокидывания, и функционирование конструкций и эксплуатация здания или сооружения возможны либо при контроле (мониторинге) технического состояния, либо при проведении необходимых мероприятий по восстановлению или усилению конструкций и (или) грунтов основания и последующем мониторинге технического состояния (при необходимости)
4	Аварийное состояние	Категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, включая состояние грунтов основания, характеризующаяся повреждениями и деформациями, свидетельствующими об исчерпании несущей способности и опасности обрушения и (или) характеризующаяся кренами, которые могут вызвать потерю устойчивости объекта
СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» [334]		
1	Исправное состояние	Категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, характеризующаяся отсутствием дефектов и повреждений, влияющих на снижение несущей способности и эксплуатационной пригодности
2	Работоспособное состояние	Категория технического состояния, при которой некоторые из численно оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта, норм и стандартов, но имеющиеся нарушения требований, например, по деформативности, а в железобетоне и по трещиностойкости, в данных конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению работоспособности, и несущая способность конструкций, с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений, обеспечивается
3	Ограниченно работоспособное состояние	Категория технического состояния конструкций, при которой имеются дефекты и повреждения, приведшие к некоторому снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения и функционирование конструкции возможно при контроле ее состояния, продолжительности и условий эксплуатации
4	Недопустимое состояние	Категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, характеризующаяся снижением несущей способности и эксплуатационных характеристик, при котором существует опасность для пребывания людей и сохранности оборудования (необходимо проведение страховочных мероприятий и усиление конструкций)
5	Аварийное состояние	Категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, характеризующаяся повреждениями и деформациями, свидетельствующими об исчерпании несущей способности и опасности обрушения (необходимо проведение срочных противоаварийных мероприятий)

Окончание таблицы 3.12

РД 22-01.97 «Требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений поднадзорных промышленных производств и объектов» [293]		
1	Работоспособное состояние	Техническое состояние конструкций, при котором она удовлетворяет требованиям обеспечения производственного процесса и правилам техники безопасности, хотя и может не соответствовать некоторым требованиям действующих норм или проектной документации
2	Ограниченно работоспособное состояние	Техническое состояние конструкций, имеющих дефекты и повреждения, при которых функционирование возможно лишь при соблюдении специальных мер по контролю за состоянием конструкций и параметрами производственного процесса (интенсивность, грузоподъемность и т.п.), нагрузками и воздействиями
3	Неработоспособное (аварийное) состояние	Техническое состояние конструкций, имеющих дефекты или повреждения, свидетельствующие о потере несущей способности, ведущей к прекращению производственного процесса и (или) нарушению правил техники безопасности, а при неприятии мер – к обрушению
ГОСТ Р 27.102-2021 «Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения» [98]		
1	Исправное состояние	Состояние объекта, в котором все параметры объекта соответствуют всем требованиям, установленным в документации на этот объект
2	Работоспособное состояние	Состояние объекта, в котором значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативной и технической документации
3	Неработоспособное состояние	Состояние объекта, в котором значение хотя бы одного из параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции, не соответствует требованиям документации на этот объект
4	Предельное состояние	Состояние объекта, в котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно
5	Опасное состояние	Состояние объекта, которому соответствует высокая вероятность или высокая значимость неблагоприятных последствий для людей, окружающей среды и материальных ценностей

3.6 Математический аппарат для идентификации параметров функций принадлежности компонент лингвистической переменной

Анализ теоретических и экспериментальных решений по выбору формы функции принадлежности компонент второго уровня лингвистической переменной показал, что наиболее часто используются кусочные функции с линейными трендами и S-образными кривыми [43, 222, 223, 225, 229].

В работе [43] введено понятие равновесной и неравновесной функции принадлежности, параметры которой выбираются интерактивно с использованием программных продуктов (рисунок 3.16).

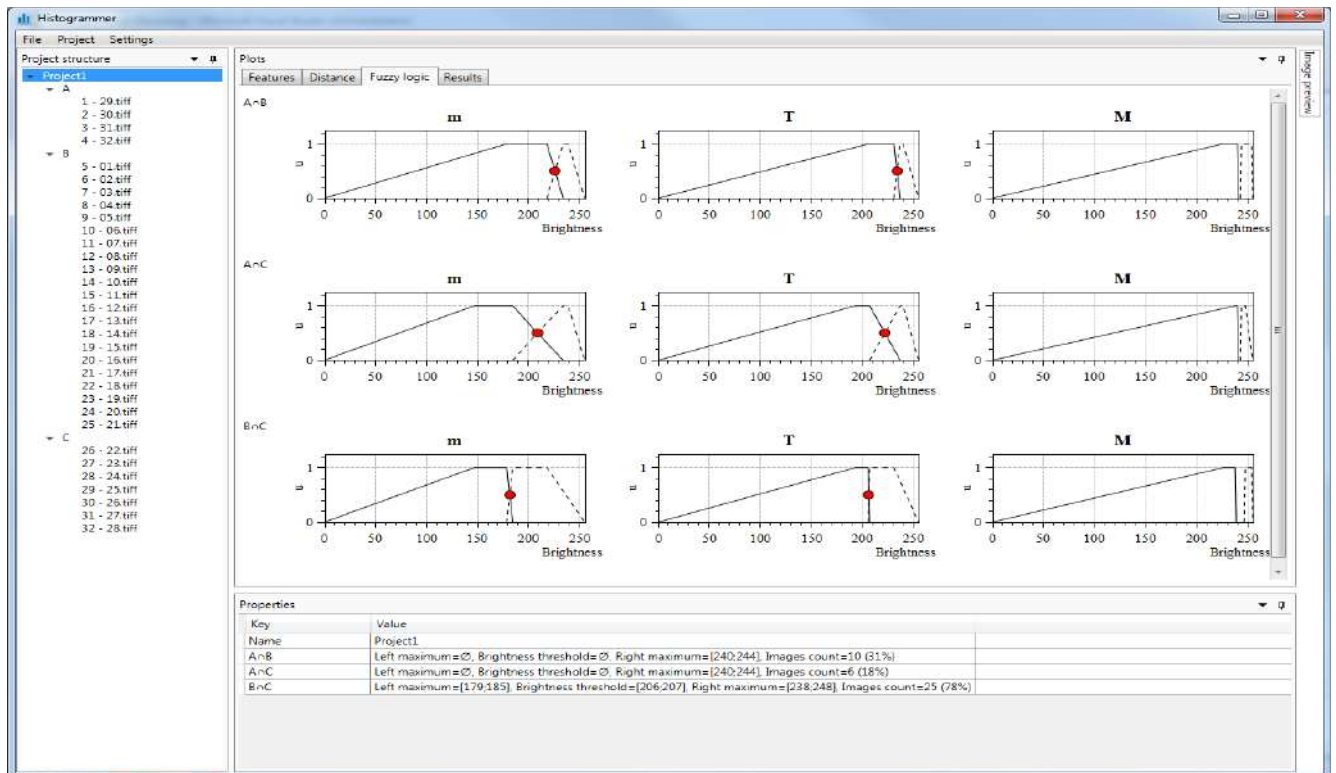


Рисунок 3.16 – Вид диалогового окна для интерактивного выбора формы неравновесной модели для функции принадлежности

Обобщенная форма функций принадлежности схематично приведена в таблице 3.13. До настоящего времени выбор формы функций принадлежности выполняет эксперт.

При построении трех видов функций принадлежности (линейная, треугольная и трапециевидная) для задания аналитической записи достаточно использовать значения координат по оси абсцисс для отрезка, на котором рассматривается или задана функция принадлежности (таблица 3.13).

Таблица 3.13 – Перечень функций принадлежности для компонент второго уровня

№	Название	Обобщенный вид	Аналитическая запись
1	Линейная		$\mu = \begin{cases} 1, & \text{если } x > b, \\ \frac{x - a}{b - a}, & \text{если } a \leq x \leq b, \\ 0, & \text{если } x < a \end{cases}$

Окончание таблицы 3.13

№	Название	Обобщенный вид	Аналитическая запись
2	Треугольная		$\mu = \begin{cases} 0, & \text{если } x < a, \\ \frac{x-a}{c-a}, & \text{если } a \leq x < c, \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{если } c \leq x \leq b \\ 0, & \text{если } x > b \end{cases}$
3	Трапецевидная		$\mu = \begin{cases} 0, & \text{если } x < a, \\ \frac{x-a}{c-a}, & \text{если } a \leq x < c, \\ 1, & \text{если } c \leq x \leq d, \\ \frac{d-x}{d-b}, & \text{если } d < x \leq b \\ 0, & \text{если } x > b \end{cases}$
4	S-образная		$\mu = \begin{cases} 1, & \text{если } x > b, \\ f(x; a, b), & \text{если } a \leq x \leq b, \\ 0, & \text{если } x < a \end{cases}$

Для задания аналитической формы S-образной кривой представлено несколько рекомендаций:

– задание кривой с использованием тригонометрических функций

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a, \\ A + B \cdot \cos\left(\frac{x-b}{b-a}\pi\right), & \text{если } a < x < b, \\ 1, & \text{если } x \geq b; \end{cases} \quad (3.10)$$

– задание кривой с использованием степенной функции на четырех интервалах

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a, \\ 2^{p-1} \left(\frac{x-a}{b-a}\right)^p, & \text{если } a < x \leq \frac{a+b}{2}, \\ 1 - 2^{p-1} \left(\frac{x-a}{b-a}\right)^p, & \text{если } \frac{a+b}{2} < x < b, \\ 1, & \text{если } x \geq b; \end{cases} \quad (3.11)$$

– задание кривой с использованием гиперболического тангенса

$$f(x; a, b) = A + B \cdot th(b \cdot x + a). \quad (3.12)$$

Использование рекомендаций (3.10) – (3.12) приводит к построению и решению системы нелинейных уравнений. Решение таких систем вносит дополнительную вычислительную погрешность в результат.

Для устранения дополнительной вычислительной погрешности в работе предлагается использовать комбинированную методику, которая объединяет методику выбора экспертных точек для построения S -образной кривой и последующую аппроксимацию этих точек полиномом нечетной степени.

Методика построения функции принадлежности объекта к заданному техническому состоянию, характеризующей зависимость оценки от значений показателя качества, содержит шаги:

1. Осуществить выбор показателей качества функционирования элементов ОПО экспертным методом (ГОСТ 15467), исходя из требований федерального законодательства, действующих стандартов, норм и правил.

2. Задать характерные значения показателей качества функционирования элементов ОПО, исходя из классификации дефектов и повреждений, приведенных в действующей нормативной и технической документации.

3. Установить значение экспертной оценки выбранным характерным значениям показателей качества по шкале от 0 до 1 включительно, где 0 – низшая оценка; 1 – высшая оценка. При оценивании учитывать количественную характеристику дефекта или повреждения (показатель качества) и ее соответствие заданным в нормативной и технической документации категориям технического состояния и сформировать основное множество для функции принадлежности в виде экспертных точек

$$\mu = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1}; \frac{\mu_A(x_2)}{x_2}; \frac{\mu_A(x_3)}{x_3}; \dots; \frac{\mu_A(x_m)}{x_m} \right\}, \quad (3.13)$$

где x_i – значение показателя; $\mu_A(x_i)$ – степень принадлежности значения показателя основному множеству A или значение квалитметрической оценки качества показателя.

4. Используя метод наименьших квадратов (МНК), получить аналитическую зависимость функции принадлежности, например, в виде S -образной кривой, используя полином нечетной степени.

5. Применив полученную зависимость для функции принадлежности объекта к заданному техническому состоянию, рассчитать значение оценки для фактического значения показателя качества, полученного при натурном обследовании элементов ОПО.

Графическая интерпретация методики построения функции принадлежности объекта к заданному техническому состоянию приведена на рисунке 3.17.

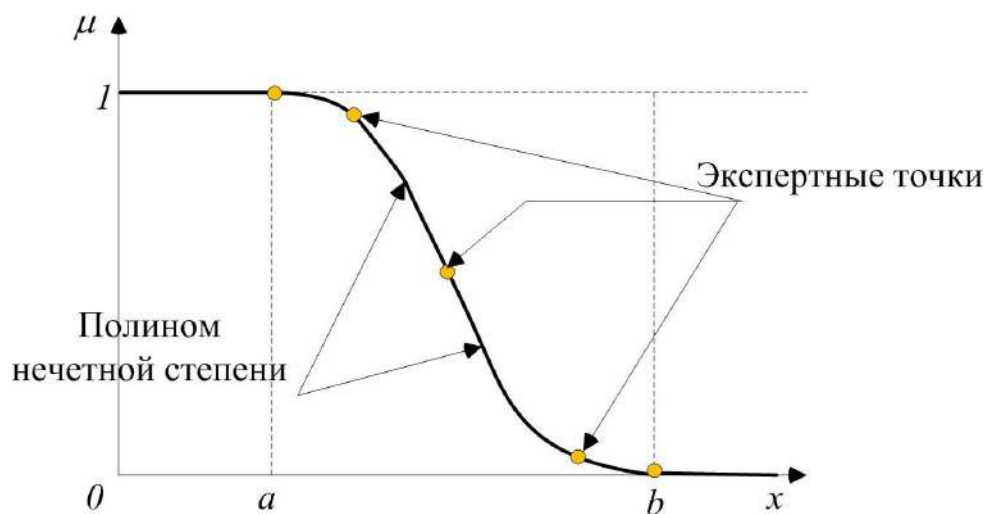


Рисунок 3.17 – Графическая интерпретация методики построения функции принадлежности, характеризующей зависимость оценки от значений показателя качества

Использование полинома нечетной степени для аппроксимации экспертных точек не вносит дополнительных вычислительных погрешностей, так как для определения его параметров получаем линейную систему уравнений, для которой известны точные методы решения: метод Гаусса, метод Крамера, метод с использованием обратной матрицы.

Пусть при аппроксимации экспертных точек для функции принадлежности определен полином n -й степени для k факторов, тогда в общем виде полином можно записать [56]

$$\mu_i = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{\substack{i=1, j=1, \\ i \neq j, i > j}} b_{ij} x_i x_j \dots, \quad (3.14)$$

где μ – теоретическое значение функции отклика; b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} – коэффициенты регрессии; x_{ij} – показатели качества; k – количество показателей качества.

Используя основную идею и математический аппарат метода наименьших квадратов (МНК): сумма квадратов отклонений между исходными значениями функции отклика и значений, рассчитанных по полученному уравнению регрессии, стремится к минимуму, записывается функционал

$$S = \sum_{i=1}^n (\mu_{x_i} - \hat{\mu}(x_i))^2 \rightarrow \min, \quad (3.15)$$

где S – сумма квадратов отклонений между исходными значениями функции отклика и значений, рассчитанных по полученному уравнению регрессии; μ_{x_i} – исходные значения оценки единичного показателя качества продукции x_i ; $\hat{\mu}(x_i)$ – теоретические (рассчитанные по уравнению регрессии) значения оценки единичного показателя качества продукции x_i ; n – количество исходных значений оценки единичного показателя качества продукции x_i (соответствует количеству экспертных точек).

Уравнение (3.15) после подстановки в него уравнения (3.14) приобретает вид

$$S = \sum_{i=1}^n (\mu_{x_i} - \hat{\mu}(x_i))^2 = \sum_{i=1}^n \left(\mu_{x_i} - \left(b_0 + \sum_{l=1}^k b_{il} x_{il} + \sum_{l=1}^k b_{iil} x_{il}^2 + \sum_{l \neq j} b_{ilj} x_{il} x_{jl} \dots \right) \right)^2 \rightarrow \min. \quad (3.16)$$

Для определения минимума функции многих переменных определяем частные производные функционала (3.16) по неизвестным параметрам b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} .

Для определения минимума функции многих переменных приравниваем частные производные к нулю и получаем систему нормальных уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \left(\mu_{x_i} - \left(b_0 + \sum_{l=1}^k b_{il}x_{il} + \sum_{l=1}^k b_{iil}x_{il}^2 + \sum_{l \neq j} b_{ilj}x_{il}x_{jl} \dots \right) \right) = 0, \\ \sum_{i=1}^n \left[\left(\mu_{x_i} - \left(b_0 + \sum_{l=1}^k b_{il}x_{il} + \sum_{l=1}^k b_{iil}x_{il}^2 + \sum_{l \neq j} b_{ilj}x_{il}x_{jl} \dots \right) \right) \sum_{l=1}^k x_{il} \right] = 0, \\ \sum_{i=1}^n \left[\left(\mu_{x_i} - \left(b_0 + \sum_{l=1}^k b_{il}x_{il} + \sum_{l=1}^k b_{iil}x_{il}^2 + \sum_{l \neq j} b_{ilj}x_{il}x_{jl} \dots \right) \right) \sum_{l=1}^k x_{il}^2 \right] = 0, \\ \dots \dots \dots = 0. \end{array} \right. \quad (3.17)$$

После алгебраических преобразований получаем систему уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} nb_0 + \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k b_{il}x_{il} + \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k b_{iil}x_{il}^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{l \neq j} b_{ilj}x_{il}x_{jl} \dots = \sum_{i=1}^n \mu_{x_i}, \\ b_0 \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k b_{il}x_{il} + \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k b_{iil}x_{il}^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k b_{iil}x_{il}^3 + \sum_{i=1}^n \sum_{l \neq j} b_{ilj}x_{il}^2x_{jl} \dots = \\ = \sum_{i=1}^n \mu_{x_i} \sum_{l=1}^k x_{il}, \\ b_0 \sum_{i=1}^n \sum_{l \neq j} x_{il}x_{jl} + \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k b_{il}x_{il} \sum_{l \neq j} x_{il}x_{jl} + \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k b_{iil}x_{il}^2 \sum_{l \neq j} x_{il}x_{jl} + \\ + \sum_{i=1}^n \sum_{l \neq j} b_{ilj}x_{il}x_{jl} \sum_{l \neq j} x_{il}x_{jl} \dots = \sum_{i=1}^n \mu_{x_i} \sum_{l \neq j} x_{il}x_{jl}, \\ \dots \dots \dots \end{array} \right. \quad (3.18)$$

Введем матрицы:

– матрица столбец свободных членов

$$\mu = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \mu_{x_i} \\ \sum_{i=1}^n \mu_{x_i} \sum_{l=1}^k x_{il} \\ \sum_{i=1}^n \mu_{x_i} \sum_{l=1}^k x_{il}^2 \\ \sum_{i=1}^n \mu_{x_i} \sum_{l \neq j} x_{il}x_{jl} \\ \dots \end{array} \right\}; \quad (3.19)$$

– матрица ковариации

$$P = \left\{ \begin{array}{cccccc} n & \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k x_{il} & \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k x_{il}^2 & \sum_{i=1}^n \sum_{l \neq j} x_{il} x_{jl} \cdots & \cdots & \\ \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k x_{il} & \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k x_{il}^2 & \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k x_{il}^3 & \sum_{i=1}^n \sum_{l \neq j} x_{il}^2 x_{jl} & \cdots & \\ \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k x_{il}^2 & \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k x_{il}^3 & \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k x_{il}^4 & \sum_{i=1}^n \sum_{l \neq j} x_{il}^3 x_{jl} & \cdots & \\ \sum_{i=1}^n \sum_{l \neq j} x_{il} x_{jl} & \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k \sum_{l \neq j} x_{il}^2 x_{jl} & \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k \sum_{l \neq j} x_{il}^3 x_{jl} & \sum_{i=1}^n \sum_{l \neq j} \sum_{l \neq j} x_{il}^2 x_{jl}^2 & \cdots & \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{array} \right\}; \quad (3.20)$$

– матрица искомым параметров полинома

$$B = \left\{ \begin{array}{c} b_0 \\ \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k x_{il} \\ \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k x_{ill} \\ \sum_{i=1}^n \sum_{l \neq j} x_{ilj} \\ \cdots \end{array} \right\}. \quad (3.21)$$

В новых обозначениях система нормальных уравнений принимает вид

$$PB = \mu. \quad (3.22)$$

Искомая матрица коэффициентов математической модели в виде полинома n -й степени от k факторов определяется по формуле

$$B = P^{-1}\mu, \quad (3.23)$$

где P^{-1} – матрица, обратная к матрице ковариации.

Найденные параметры используем при записи уравнения (3.14).

Пример функции принадлежности для показателей качества функционирования элементов ОПО приведен на рисунке 3.18. Термы лингвистической переменной приняты в соответствии с [334].

При построении функции принадлежности экспертом задано множество точек, определяющих ключевые изменения состояния объекта

$$\mu = \left\{ \frac{1}{0}; \frac{0,97}{0,1}; \frac{0,90}{0,3}; \frac{0,60}{0,5}; \frac{0}{1} \right\}.$$

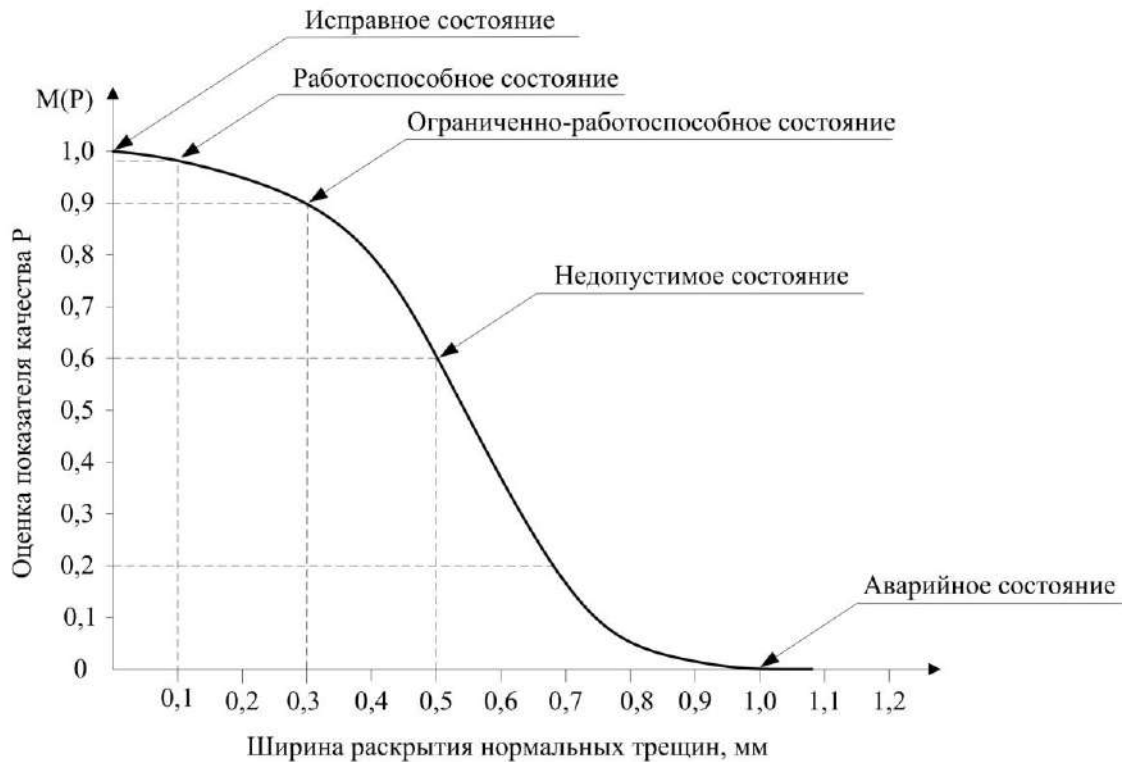


Рисунок 3.18 – Вид функции принадлежности для оценки ширины раскрытия нормальных трещин

Аналитическая запись полинома третьей степени, полученного после применения МНК, имеет вид

$$\mu(x) = 1,9977x^3 - 3,4729x^2 + 0,4895x + 0,985,$$

где μ – оценка показателя качества x ; x – ширина раскрытия нормальных трещин, мм.

Для полученного полинома $R^2 = 0,9971$ и средняя относительная ошибка аппроксимации составляет $A \approx 7\%$.

Наличие современных инструментов обработки экспериментальных данных (электронные таблицы, универсальные пакеты статистики) позволяет скрыть вычисления и получить результат со всеми статистическими оценками уравнения.

3.7 Формализация правил принятия решений по результатам реализации метода интегративной оценки качества функционирования элементов опасных производственных объектов

Одним из основных этапов принятия решений является определение правил логического вывода. Простым способом определения правил принятия решений

является использование эмпирического представления о предметной области в форме продукционного правила. Продукционное правило в упрощенном виде записывается как

$$R_i: A \Rightarrow B, \quad (3.24)$$

где R_i – имя нечеткой продукции; $A \Rightarrow B$ – ядро нечеткой продукции, в котором A – условие ядра (или антецедент), B – заключение ядра (или консеквент), \Rightarrow – знак логической секвенции или следования.

Таким образом, база продукционных правил системы вывода – это система продукционных правил, отражающая знания экспертов о методах управления объектом в различных ситуациях, характере его функционирования в различных условиях, содержащая формализованные человеческие знания.

Определим обобщенную методику построения продукционных правил с использованием функций принадлежности объекта к заданному техническому состоянию для оценки качества в зависимости от значения показателя.

Пусть для принятия решений о техническом состоянии элемента ОПО использовано k -показателей. Тогда формируется лингвистическая переменная Y , принимающая значения из множества возможных состояний объекта согласно нормативным документам. В этом случае получаем множество

$$Y = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}, \quad (3.25)$$

где B_1, B_2, \dots, B_n – термы лингвистической переменной; n – количество определенных терм; $B_i = \|\|VB_i, \alpha_i\|\|$.

Значение лингвистической переменной определяет m показателей, для которых определены экспертные ключевые точки для функции принадлежности объекта к заданному техническому состоянию, причем для каждого показателя количество точек может быть различным

$$\mu_i = \left\{ \frac{\mu_i(x_{j1})}{x_{j1}}; \frac{\mu_i(x_{j2})}{x_{j2}}; \frac{\mu_i(x_{j3})}{x_{j3}}; \dots; \frac{\mu_i(x_{jm})}{x_{jm}} \right\}, \quad (3.26)$$

где x_{jk} – значение показателя j в точке с номером k ; $\mu_i(x_{jk})$ – степень принадлежности значения показателя X_j основному множеству A или значение оценки качества показателя; m – количество экспертных ключевых точек.

На рисунке 3.19 показано графическое отображение функции принадлежности объекта к заданному техническому состоянию в обобщенном виде с учетом разбиения на отрезки принятия решений.

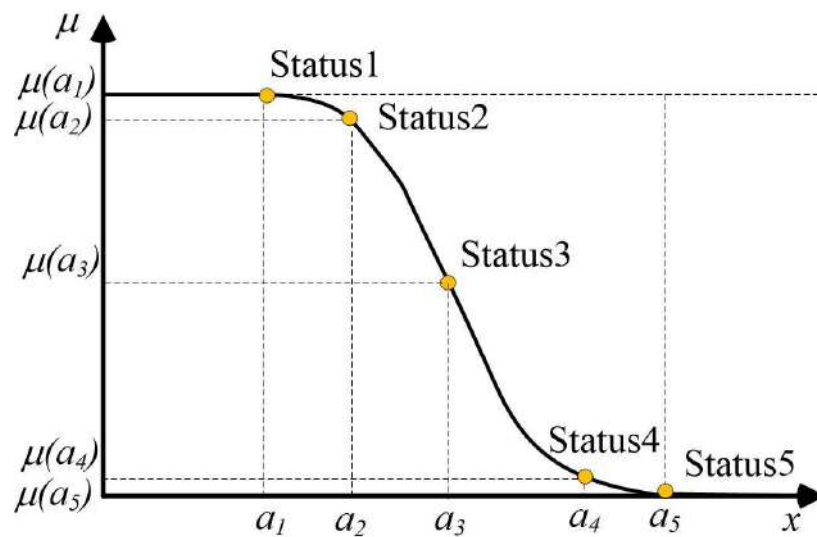


Рисунок 3.19 – Графическое отображение обобщенной функции принадлежности объекта к заданному техническому состоянию с учетом разбиения на отрезки принятия решений

С учетом принятых обозначений каждое из состояний (*Status*) задается интервалом значений показателя качества x . В соответствии с рисунком 3.20, при наличии влияния одного показателя, правила принятия решений запишутся в виде:

- R_1 : Если $x \leq a_1$, то $Y = Status_1$;
- R_2 : Если $a_1 < x \leq a_2$, то $Y = Status_2$;
- R_3 : Если $a_2 < x \leq a_3$, то $Y = Status_3$;
- R_4 : Если $a_3 < x \leq a_4$, то $Y = Status_4$;
- R_5 : Если $a_4 < x \leq a_5$, то $Y = Status_5$;
- R_6 : Если $x > a_5$, то $Y = Status_6$.

При наличии k -факторов, которые определяют значение лингвистической переменной, используется составное условие, использующее логические функции и, в частности, конъюнкцию. С использованием функции конъюнкции должны быть рассмотрены все варианты сочетания статусных интервалов по всем показателям качества.

Например, при наличии двух показателей аналогичной ситуации при разбиении экспертными точками количество правил увеличится до 36. Каждое из правил в общем виде будет определено логическим выражением

$$R_l: \text{Если } (a_{1i} < x_1 \leq a_{1,i+1}) \wedge (a_{2i} < x_2 \leq a_{2,i+1}), \text{ то } Y = Status_K, \quad (3.27)$$

где R_l – правило с номером l ; x_1 и x_2 – текущее значение соответствующего показателя качества ОПО; a_{ji} – абсцисса интервалов по экспертным точкам; $Status_K$ – одно из значений лингвистической переменной, которое назначено экспертом по нормативной документации.

Аналогичным образом выстраиваются правила для любого количества показателей качества. Использование формы представления правил, рассмотренных выше, допускает применение функций дизъюнкции и отрицания, которые приводят к сокращению количества правил и обеспечивают интегративность оценок показателей при описании качества функционирования элементов ОПО до количества терм лингвистической переменной.

Для m показателей приведем обобщенную аналитическую запись некоторых правил нечеткого вывода:

– обобщенная форма записи крайней левой области для функций принадлежности

$$R_1: \text{Если } \bigwedge_{i=1}^m (x_i \leq a_{1i}), \text{ то } Y = Status_1; \quad (3.28)$$

– обобщенная форма записи крайней правой области для функций принадлежности

$$R_n: \text{Если } \bigwedge_{i=1}^m (x_i > a_{ki}), \text{ то } Y = Status_n; \quad (3.29)$$

– обобщенная форма записи внутренних областей для функции принадлежности:

$$R_l: \text{Если } \bigvee_{k=1}^m \bigwedge_{i=1}^m (a_{ki} \leq x_i < a_{k,i+1}), \text{ то } Y = \min_{j=1, n} (Status_j), \quad (3.30)$$

$$l = \overline{2, n-1},$$

где $\min(Status_j)$ – «худший» статус из всех значений терм лингвистической переменной; n – количество терм лингвистической переменной.

На рисунке 3.20 приведена графическая интерпретация правил принятия решений о качестве функционирования элементов ОПО.

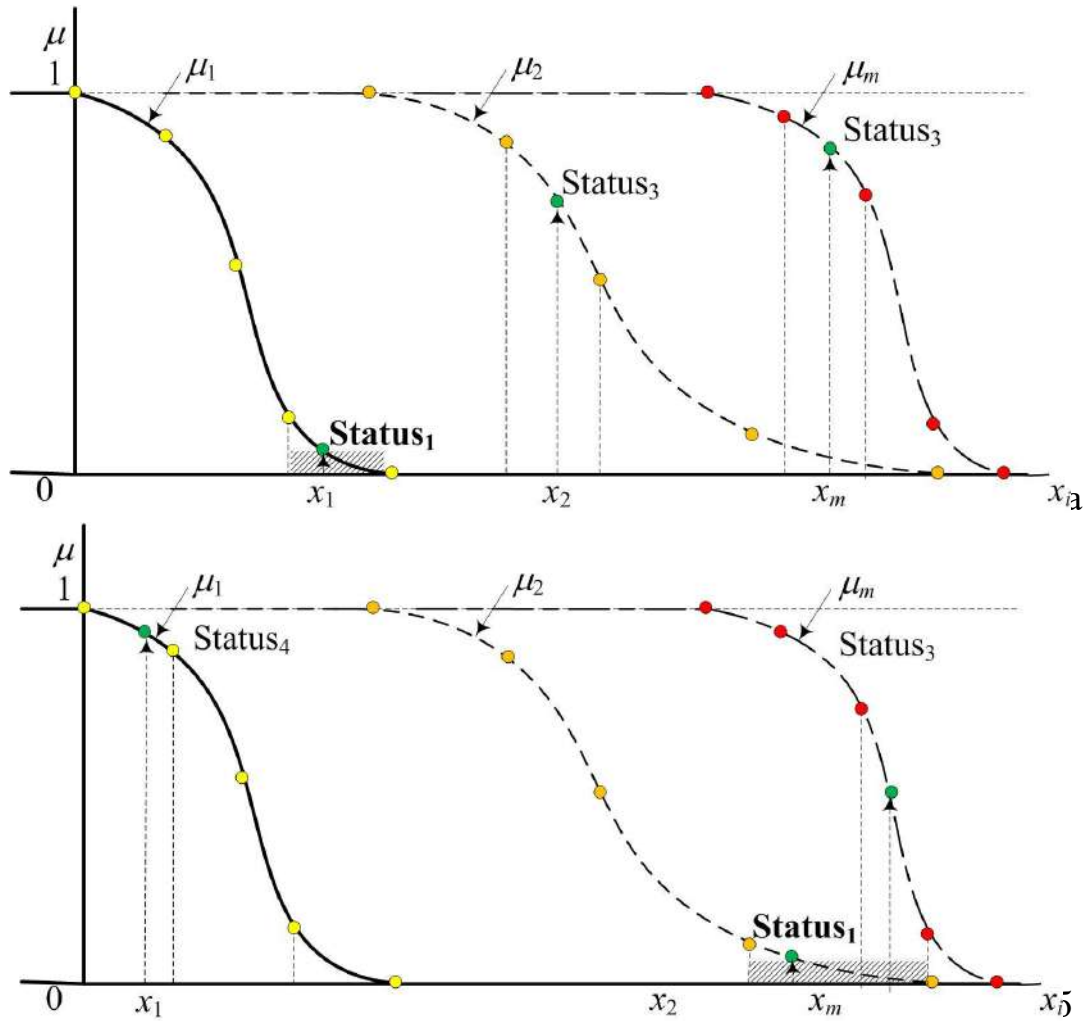


Рисунок 3.20 – Графическая интерпретация правил принятия решений «*Status₁*»:

а – по показателю качества x_1 ; б – по показателю качества x_2

На рисунке 3.20 заштрихована область, определяющая итоговый интервал решений со значением лингвистической переменной «*Status₁*». Полученные решения устанавливаются по функции дизъюнкция при выбранном наборе значений показателя качества.

3.8 Разработка алгоритма реализации метода интегративной оценки качества функционирования элементов опасных производственных объектов

Определим алгоритм реализации трехуровневого метода интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО согласно заявленным уровням.

Уровень 1. Определение лингвистической переменной и ее терм, разделение показателей качества на две группы: базовые и цифровые.

1.1. Согласно техническому заданию на проведение экспертизы элемента ОПО определить нормативные документы, в которых определены требования и показатели для оценки.

1.2. Согласно идентифицированным документам определить:

- лингвистическую переменную и ее термы;
- определить состав базовых и цифровых показателей качества, сформировав множества:

$$X_B = \{X_{B1}, X_{B2}, \dots, X_{Bm}\} \text{ и } X_D = \{X_{D1}, X_{D2}, \dots, X_{Dk}\},$$

где $\{X_{B1}, X_{B2}, \dots, X_{Bm}\}$ – множество базовых показателей качества функционирования элементов ОПО; $\{X_{D1}, X_{D2}, \dots, X_{Dk}\}$ – множество цифровых показателей качества функционирования элементов ОПО.

1.3. Назначить экспертно ранги предпочтения для каждой термы, используя смысловые значения базовых и цифровых показателей качества, записав матрицы в форме

$$\|VB_i, \alpha_i\| \text{ и } \|VD_j, \beta_j\|, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}.$$

1.4. Закрепить за каждой термой перечень мероприятий для проведения на элементах ОПО согласно требований нормативной документации.

Уровень 2. Получение решения для компонент 1-го уровня для базовых и цифровых показателей качества.

2.1. Для каждого показателя качества с использованием экспертных оценок определить ключевые точки изменения технического состояния объекта согласно положениям действующей нормативной и технической документации (ГОСТ

31937, ГОСТ Р 27.102-2021, СП 13-102, СП 16.13330, Рекомендаций АО «ЦНИИ-Промзданий» и др.) и построить функцию принадлежности

$$\mu_i = \left\{ \frac{\mu_i(x_{j1})}{x_{j1}}; \frac{\mu_i(x_{j2})}{x_{j2}}; \frac{\mu_i(x_{j3})}{x_{j3}}; \dots; \frac{\mu_i(x_{jm})}{x_{jm}} \right\}, \quad (3.31)$$

где x_{jk} – значение показателя j в точке с номером k ; $\mu_i(x_{jk})$ – степень принадлежности значения показателя X_i основному множеству A или значение оценки качества показателя; m – количество экспертных ключевых точек.

2.2. Выполнить аппроксимацию функций принадлежности объекта к заданному техническому состоянию: линейной, треугольной, трапециевидной или S -образной.

2.3. Сформировать правила принятия решений для компонент Y_1 и Y_2 согласно выражениям (3.28) – (3.30).

2.4. Применить правила принятия решений (3.28) – (3.30) для показателей качества функционирования элементов ОПО, выбранных в ходе экспертной оценки с указанием степени принадлежности ко всем состояниям.

Уровень 3. Использование принципа суперпозиции для гармонизации решения, полученного на основе базовых показателей с учетом квалиметрических значений цифровых показателей.

3.1. Использовать принцип суперпозиции, построенный согласно предпочтению рангов, каждой из компонент Y_1 и Y_2 :

- при равенстве рангов результирующих терм Y_1 и Y_2 итоговый статус принятия решений остается неизменным;
- при разнице рангов результирующих терм Y_1 и Y_2 в одну позицию установить ранг термы более опасного состояния;
- при разнице рангов в две единицы результирующих терм Y_1 и Y_2 установить средний ранг;
- при разнице рангов в три и более единиц результирующих терм Y_1 и Y_2 выполнить пересмотр экспертных оценок по всем показателям.

Аналитическая запись принципа суперпозиции, построенного согласно предпочтению рангов каждой из компонент Y_1 и Y_2 , имеет вид

$$h(Y_2(Y_1)) = \begin{cases} Y_1, & \text{при } Y_1 = Y_2; \\ Y_2, & \text{при } Y_1 - Y_2 = 1; \\ Y_1, & \text{при } Y_1 - Y_2 = -1; \\ \frac{Y_1 + Y_2}{2}, & \text{при } |Y_1 - Y_2| = 2; \\ \emptyset, & \text{при } |Y_1 - Y_2| \geq 3. \end{cases} \quad (3.32)$$

3.2. Сформулировать вывод о значении лингвистической переменной U_0 с указанием степени принадлежности каждого показателя к статусу опасности и идентифицировать список мероприятий для проведения на элементах ОПО.

3.3. Установить итоговый вывод о соответствии (не в полной мере соответствии, несоответствие) элементов ОПО требованиям стандартов, исходя из сопоставления принятого решения ($Status_i$) возможности эксплуатации.

3.4. Назначить управляющее воздействие, направленное на изменение показателей качества технического состояния элемента ОПО.

Схемы декомпозиции применения трехуровневого метода интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО приведены в Приложении Г.

3.9 Выводы по главе 3

В результате решения задачи по разработке комплексного инструментария оценки, мониторинга и управления качеством функционирования элементов ОПО на МП получены следующие научно-практические результаты:

1. Разработана методика проведения экспериментальных исследований для оценки качества функционирования элементов ОПО, включающая эксперимент-обследование, специализированный эксперимент-преобразование и модульный вычислительный эксперимент. В ходе экспериментальных исследований выполняется последовательное наращивание сведений о техническом состоянии элементов ОПО и формированием визуально оцениваемых базовых и цифровых показателей качества. Полученные сведения используются при формировании показателей качества элементов ОПО.

2. Выполнен выбор пилотных объектов, который охватывает элементы ОПО в зависимости от: среды эксплуатации зданий и сооружений (по степени агрессивности, по наличию воздействия высоких температур, выделений производственной пыли и т.д.); эксплуатационных характеристик БПЛА; принадлежности к

основным видам производственной деятельности ПАО «ММК».

3. Построена методика проведения и результаты специализированных экспериментов-преобразования по исследованию разрушения бетонных образцов, заложившая основу для построения цифровых показателей качества и позволившая сформировать новое информационное поле в динамическом постэкспериментальном режиме изучить зависимости по развитию дефектов и повреждений.

4. Выполнена классификация дефектов и повреждений элементов ОПО, выявляемых визуальным осмотром, для определения ключевых показателей качества функционирования элементов ОПО на примере ПАО «ММК». Выявлены преимущества использования цифровых показателей качества элементов ОПО, среди которых основным является отсутствие влияния субъективной оценки эксперта при их получении, обработке и анализе.

5. Разработан метод интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО, а также математический аппарат для идентификации параметров функций принадлежности компонент лингвистической переменной. Суть метода состоит в том, что для повышения результативности экспертизы элементов ОПО требуется выполнить дополнение системы базовых показателей таким образом, чтобы сохранить их смысл согласно нормативным документам и дополнить новыми знаниями, полученными при использовании новых инструментов ПЦП.

6. Определены производственные правила принятия решений о принадлежности элементов ОПО к заданному техническому состоянию. Для реализации метода интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО и набора производственных правил разработан алгоритм с учетом требований нормативной документации. Алгоритм заложен в основу ПЦП при принятии решений экспертом о принадлежности элементов ОПО к заданному техническому состоянию.

Таким образом, полученные результаты явились предпосылками для цифровизации процесса экспертизы и позволили перейти к решению важной проблемы, связанной с проектированием и реализацией цифрового инструментария для мониторинга, оценки и повышения качества функционирования элементов ОПО МП на основе ПЦП.

4 ЦИФРОВИЗАЦИЯ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Наличие новых теоретических основ интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО с использованием S-образных кривых и правил принятия решений (глава 3) потребовало введения новых инструментов для подготовки и экспертной оценки технического состояния элементов ОПО. Новые инструменты сформировали ПЦП, позволяющую осуществлять роль советчика-помощника для группы экспертов и повышать результативность функционирования системы управления качеством на ОПО МП, вызывая научно обоснованную трансформацию системы производственного контроля и экспертизы на МП.

4.1 Структура прикладной цифровой платформы для экспертизы элементов опасных производственных объектов

Развитие приоритетного направления А национального проекта «Наука и университеты» явилось вызовом для активизации процессов синтеза цифровых платформ. Под ПЦП в рамках настоящего исследования понимается система алгоритмизированных отношений и взаимодействий (*InterActive*) между компонентами системы в едином информационном поле (глава 3, рисунок 3.6), приводящих к повышению результативности ПЭОК за счет применения пакета цифровых технологий при работе с данными. На рисунке 4.1 приведена структура ПЦП, которая использована для получения и обработки данных в ходе проведения экспертизы элементов ОПО [278].

Основными компонентами ПЦП для экспертизы элементов ОПО являются:

– аппаратное обеспечение платформы, обеспечивающее информационные процессы по сбору, хранению и передаче информации о показателях качества функционирования элементов ОПО. Отличительной особенностью ПЦП является введение в состав аппаратного обеспечения БПЛА, обеспечивающего фронтальное исследование поверхности технического устройства, здания или сооружения на ОПО;

– программное обеспечение, включающее несколько слоев организации и обеспечивающее хранение данных, обработку данных и формирование решений на основе базы знаний;

– кадровое обеспечение, основу которого составляет коллектив технологов, ведущих техническую подготовку экспертизы, и коллектив экспертов, осуществляющих изучение непосредственно объекта, а также его цифрового двойника для принятия управленческих решений.

Прикладная цифровая платформа экспертной оценки

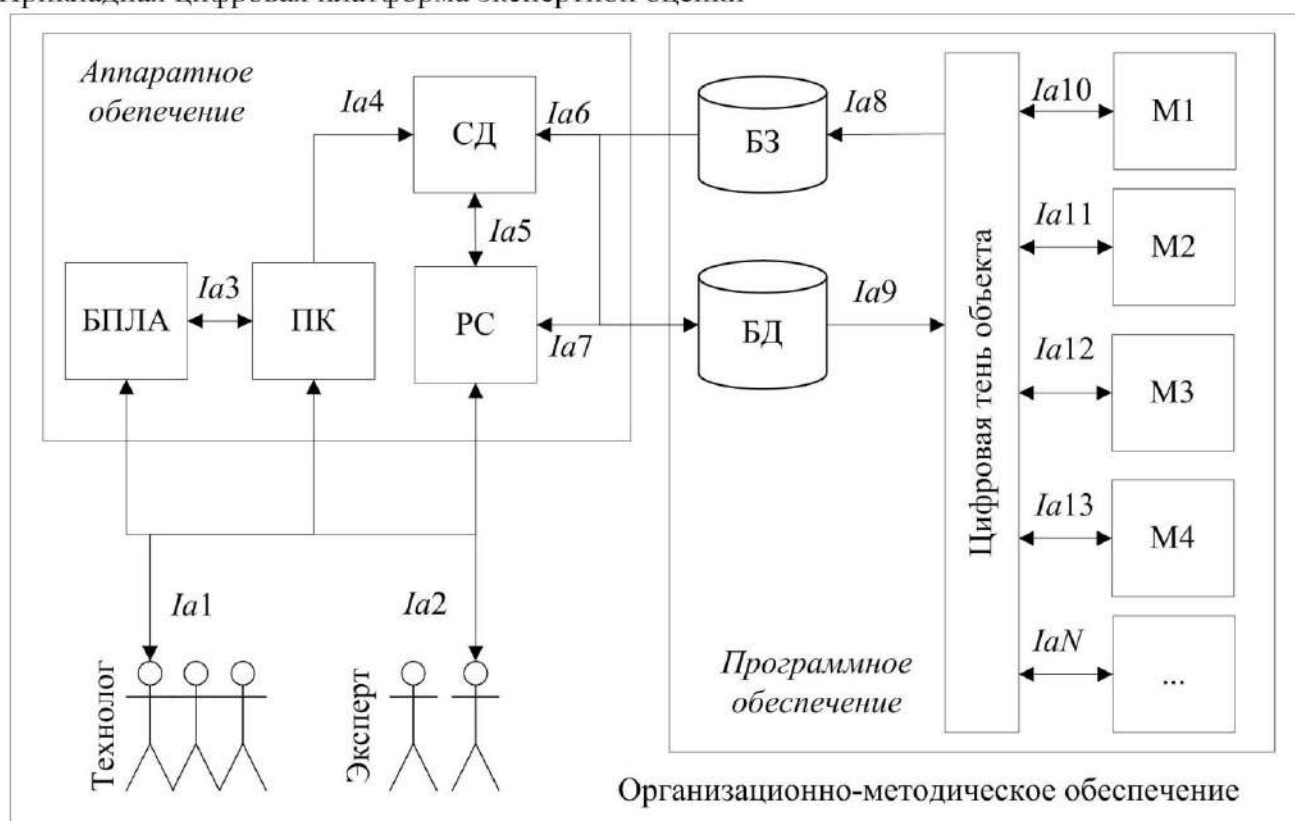


Рисунок 4.1 – Структура ПЦП для экспертизы элементов ОПО:

БПЛА – беспилотный летательный аппарат; ПК – переносной компьютер;
 РС – рабочая станция; СД – сервер данных; БД – база данных; БЗ – база знаний;
 M1, M2, ... – программные модули

На рисунке 4.1 введены обозначения для описания взаимодействия между компонентами ПЦП, приведенные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень обозначений для взаимодействия между компонентами ПЦП

№	Обозначение	Суть взаимодействия (<i>InterAction</i>)
1	<i>Ia1</i>	Взаимодействие технолога, исследователя с аппаратным обеспечением, выполняющим подготовку БПЛА, передачу данных с БПЛА на ПК и РС
2	<i>Ia2</i>	Взаимодействие экспертов с РС для получения данных о результатах обследования объектов с помощью БПЛА и цифровой тени объекта
3	<i>Ia3</i>	Взаимодействие БПЛА с ПК для сохранения и передачи данных о состоянии объекта в виде фото- и видеопотоков на СД
4	<i>Ia4</i>	Взаимодействие ПК и СД для передачи данных о результатах обследования элементов ОПО
5	<i>Ia5</i>	Двухстороннее взаимодействие СД и РС для формирования ответов на запрос эксперта
6	<i>Ia6</i>	Взаимодействие базы знаний с СД для сохранения результатов принятия решений по экспертной оценке элементов ОПО
7	<i>Ia7</i>	Двухстороннее взаимодействие РС и БД для сохранения и извлечения фото- и видеопотока по результатам контроля
8	<i>Ia8</i>	Взаимодействие цифровой тени элементов ОПО по результатам принятия решений экспертом на основе фото- и видеопотоков
9	<i>Ia9</i>	Взаимодействие БД с цифровой тенью элемента ОПО
10	<i>Ia10– Ia13</i>	Взаимодействие программных модулей с цифровой тенью объекта при обработке информации в текущих условиях и прогнозирования нового состояния элементов ОПО

Введение ПЦП потребовало исследования возможностей БПЛА для фронтального обследования объектов как на российском, так и мировом уровне.

4.2 Математическая модель траектории движения аппаратных средств мониторинга (беспилотных летательных аппаратов) при обследовании элементов опасных производственных объектов

В ходе пилотажного эксперимента (глава 3, п. 3.2) на основе декомпозиции предметной области выявлены инструменты, средства и методы, которые необходимо использовать при разработке правил принятия решений о техническом состоянии элементов ОПО. При построении системы принятия решений о состоянии технических устройств, зданий и сооружений промышленного предприятия выделен этап получения графической информации в ходе обследования. В качестве инструмента получения исходной информации рассматривается визуальный осмотр экспертами и с использованием БПЛА (рисунок 1.24), а также стационарно расположенных видеокамер [20, 21, 214].

Привлечение практикующих экспертов на этапе разработки пилотного проекта позволяет сформировать базу знаний уникального человеческого опыта.

Привлечение новых средств для сбора информации о техническом состоянии элементов ОПО определило четыре основные задачи (рисунок 1.23). Среди этих задач первостепенной является определение траектории движения БПЛА, которая бы исключала дублирование и потерю информации о техническом состоянии элемента ОПО [141].

В ходе выполнения научных исследований определены пилотные объекты для проведения экспертизы на предмет соответствия фактических значений показателей качества функционирования элементов ОПО обязательным требованиям [93, 299, 301, 334, 368 и др.]. Пилотные объекты относятся к элементам ОПО, эксплуатируемым на ПАО «ММК».

Перечень пилотных объектов включает: здание главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8; здание литейного двора доменной печи № 6; здание склада № 54 Управления подготовки производства; здание паровоздуховодной электростанции (ПВЭС); сооружение дымовой трубы № 132 ПВЭС; территория ПАО «ММК» – проспект Доменщиков.

На рисунке 4.2 представлен фасад главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8, на котором по результатам визуальной экспертной оценки обнаруживаются:

- разрушение элементов уплотнения швов навесных стеновых панелей: выпадение мастики, разрушение прокладок из упругих материалов;
- наличие трещин всех видов и направлений;
- наличие локальных разрушений поверхности стеновых панелей;
- перемещение объекта или отдельных его элементов в пространстве (угловые и линейные).

Дополнительно на фотографии объекта (рисунок 4.2) наблюдаются:

- дисторсия, которая искажает вертикальность боковых граней объекта исследования;
- посторонние объекты в виде растительности, столба освещения, структур-

ных элементов фасада, которые не позволят приблизить БПЛА к поверхности изучаемого объекта и при сегментации изображении внесут дополнительный шум;

– наличие фона, окружающего фасад здания.

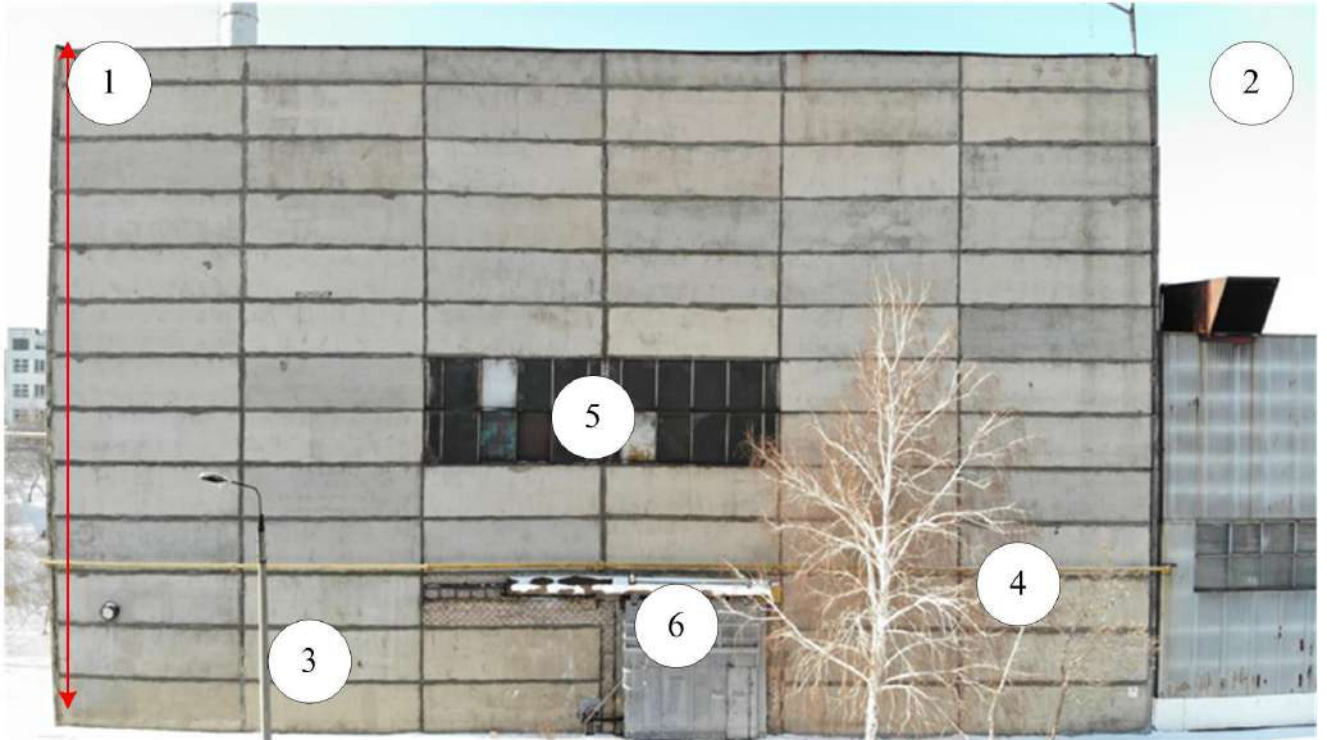


Рисунок 4.2 – Общий вид фасада здания главного корпуса ЛПЦ № 8:

1 – искажения за счет дисторсии; 2 – окружающий фон; 3 – столб освещения;
4 – растительность; 5, 6 – структурные элементы фасада

Требованиями к получаемой информации о состоянии технических устройств, зданий и сооружений являются:

1) *полнота* – отображение фрагментов поверхности зданий и сооружений, исчерпывающе характеризующее нарушения сплошности как всей поверхности, так и ее отдельных частей;

2) *воспроизводимость* – возможность получения информации о фрагментах поверхности зданий и сооружений с одной геопозиции.

Инструментальным средством получения графической информации о состоянии поверхности зданий и сооружений является БПЛА *DJI Mavic 2 Pro* с характеристиками, приведенными в таблицах 4.2-4.4.

Требование полноты определяет характеристики видеокамеры, установленной на БПЛА (таблица 4.2). Требование воспроизводимости определяет наличие траектории движения БПЛА с возможностью логирования и повторения траектории по записанному логу.

Таблица 4.2 – Общие характеристики БПЛА *DJI Mavic 2 Pro*

Наименование характеристики	Значение характеристики
Взлетный вес	907 г
Размер	В сложенном виде: 214×91×84 мм (Д×Ш×В), в разложенном виде: 322×242×84 мм (Д×Ш×В)
Размер по диагонали (без пропеллеров)	354 мм
Максимальная скорость набора высоты	5 м/с (режим S), 4 м/с (режим P)
Максимальная скорость снижения	3 м/с (режим S), 3 м/с (режим P)
Максимальная скорость	72 км/ч (режим S)
Максимально допустимая скорость ветра	29 – 38 км/ч
Максимальная высота полета	6000 м
Максимальное время полета	31 мин (при скорости 25 км/ч)
Максимальное время зависания	29 мин
Диапазон рабочих температур	-10...+40°C
Максимальная дальность полета	18 км (при скорости 50 км/ч)
Режим GPS	GPS / ГЛОНАСС
Точность зависания	Вертикальная: ±0,1 м (вкл. Vision Positioning) или ±0,5 м (только GPS), горизонтальная: ±0,3 м (вкл. Vision Positioning) или ±1,5 м (только GPS)
Мощность передатчика (EIRP)	FCC: ≤26 дБм, CE: ≤20 дБм, SRRC: ≤20 дБм, MIC: ≤20 дБм
Рабочая частота	2,400 ~ 2,483 ГГц

Таблица 4.3 – Характеристики видеокамеры БПЛА *DJI Mavic 2 Pro*

Наименование характеристики	Значение характеристики
Число эффективных пикселей	20 Мп
Сенсор	1" CMOS
Объектив	FOV: около 77°, 35 мм (эквивалент формата 24 мм), Диафрагма: f/2.8–f/11, Фокус: от 1 м до ∞

Окончание таблицы 4.3

Наименование характеристики	Значение характеристики
Выдержка	8 – 1/8000 с
ISO	Видео: 100–6400, Фото: 100–3200 (авто), 100–12800 (ручной)
Размер изображения	5472 × 3648
Режимы видеосъемки	4К: 3840×2160 (30р), 2,7К: 2688×1512 (60р), FHD: 1920×1080 (120р)
Режимы фотосъемки	Единичный снимок, серийная съемка: 3/5 кадров, автоматическая экспокоррекция (АЕВ): 0,7 EV с шагом 3/5 ступени, интервальная (JPEG: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 с, серийная съемка RAW: 5/7/10/15/20/30/60 с)
Максимальный битрейт видео	100 Мбит/с
Поддерживаемые форматы файлов	FAT32 (≤ 32 Гбайт) exFAT (> 32 Гбайт), JPEG / DNG (RAW), MP4 / MOV (MPEG-4 AVC/H,264, HEVC/H,265)
Поддержка карт памяти	microSD™, Поддержка формата microSD объемом до 128 Гбайт и скоростью чтения и записи до UHS-1 Speed Grade 3

Таблица 4.4 – Характеристики системы БПЛА *DJI Mavic 2 Pro*

Наименование характеристики	Значение характеристики
Верхние датчики	Диапазон точного измерения: 0,1 – 8 м
Задние датчики	Диапазон точного измерения: 0,5 – 16 м, Общий диапазон: 16 - 32 м, Скорость обнаружения препятствий: ≤ 12 м/с, FOV: горизонтальный: 60°, вертикальный: 77°
Нижние датчики	Диапазон точного измерения: 0,5 – 11 м, Общий диапазон: 11 – 22 м
Фронтальные датчики	Диапазон точного измерения: 0,5 – 20 м, Общий диапазон: 20 – 40 м, Скорость обнаружения препятствий: ≤ 14 м/с, FOV: горизонтальный: 40°, вертикальный: 70°
Боковые датчики	Диапазон точного измерения: 0,5 – 10 м, Скорость обнаружения препятствий: ≤ 8 м/с, FOV: горизонтальный: 80°, вертикальный: 65°
Условия функционирования	Фронтальные, задние и боковые датчики: поверхность с видимой текстурой, уровень освещенности >15 лк, верхние датчики: диффузно-отражающая поверхность, коэффициент отражения >20% (стена, деревья, люди и т.д.), нижние датчики: поверхность с видимой текстурой, уровень освещенности >15 лк, диффузно-отражающая поверхность, коэффициент отражения >20% (стена, деревья, люди и т.д.)

Для построения воспроизводимой траектории движения БПЛА при фронтальном обследовании определим модель исследуемого объекта. Пусть поверхность исследуемого объекта образует прямоугольник с эквивалентным форматом 35 мм × 28 мм (рисунок 4.3).

Согласно эквиваленту формата получаем

$$\lambda = \frac{35}{28} = \frac{5}{4},$$

где λ – эквивалент формата и, следовательно,

$$\frac{AD}{AB} = \frac{5}{4}.$$

Отрезок AB ограничивает высоту обследования и отрезок AD – ширину, S – захватываемая площадь исследования.

При этом следует понимать, что прямоугольник $ABCD$ может не охватывать всю поверхность объекта, а только его фрагмент.

Точку фиксирования видеокамеры определяет два параметра – величина отрезка AB и угол раскрытия камеры (таблица 4.3). Получаем геометрическую модель, приведенную на рисунке 4.4.

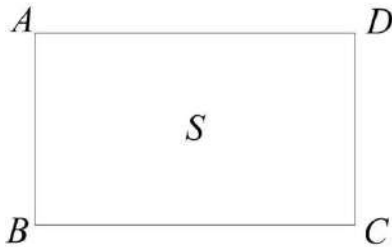


Рисунок 4.3 – Геометрическая модель исследуемого объекта

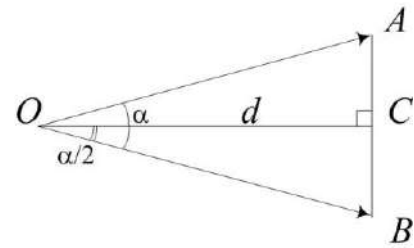


Рисунок 4.4 – Геометрическая модель объекта с углом раскрытия камеры

На рисунке 4.4 введены обозначения: d – расстояние от поверхности объекта до камеры, м; α – угол раскрытия камеры, град; O – точка нахождения БПЛА.

Учитывая введенные обозначения и соотношения прямоугольного треугольника, получим

$$AB = 2d \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, AD = \frac{5}{2} d \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Учитывая, что угол раскрытия камеры для используемого БПЛА составляет 77° , получим коэффициент пропорциональности, равный 0,6615, т.е. соотношения примут вид:

$$AB = 2 \cdot 0,6615d = 2 \cdot k \cdot d, k = 0,6615; \quad (4.1)$$

$$AD = \frac{5}{2} \cdot 0,6615d = \frac{5}{2} k \cdot d. \quad (4.2)$$

Учитывая соотношения (4.1) и (4.2), легко определяются размеры исследуемой поверхности в зависимости от удаленности БПЛА (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Пример расчета размеров исследуемой области в зависимости от удаленности БПЛА от объекта исследования

$d, \text{ м}$	$AB, \text{ м}$	$AD, \text{ м}$
1	1,59	1,99
2	3,18	3,98
4	6,36	7,95
8	12,73	15,91
16	25,45	31,82
32	50,91	63,63

В таблице 4.5 приведены примеры определения линейных размеров исследуемого фрагмента. Результаты расчетов, приведенные в таблице 4.5, показали, что при удаленности от объекта исследования на 32 м камера БПЛА позволяет охватить высоты в 50 м, что является достаточным для получения изображения объекта по всей его высоте. Приближение аппарата менее чем на один метр не является целесообразным, так как фокусное расстояние камеры составляет один метр и расстояние менее 3 м является опасным для нахождения БПЛА. Таким образом, диапазон $d \in [3; 32]$ метров для удаления БПЛА является достаточным для получения изображения всего объекта по высоте. При этом необходимо определить удаленность, при которой различимы нарушения сплошности на поверхности исследуемого объекта.

Рассмотрим фасад здания на элементе ОПО, поверхность которого образует прямоугольник (рисунок 4.2). Для обследования объекта необходимо выделить «полезную» площадь обследования, которая может быть доступна для сбора информации с помощью БПЛА. На рисунке 4.2 из рассмотрения должны быть исключены области: 2 – фон; 4 – растительность вокруг здания, которая не позволяет к нему приблизиться. Остальные области могут быть включены в исследование.

Алгоритм построения траектории движения БПЛА включает шаги:

1) определение «полезной» площади фронтального исследования по изображению полной поверхности объекта, исключая недоступные и неинформативные области;

2) выбор точки отсчета и введение системы координат (рисунок 4.5) соглас-

но размерам области исследования и итерационного исследования в области заданной точки;

3) определение размера масштабной сетки в соответствии с характеристиками видеокамеры, в частности угла раскрытия и эквивалента формата по формуле (4.1);

4) определение «узловых» точек для сбора информации и направления движения БПЛА.

Особое внимание в этом алгоритме заслуживает п. 3 по определению масштабной сетки. В таблице 4.6 приведены итерационные шаги ее построения.

Таблица 4.6 – Перечень итерационных шагов при построении итерационной сетки

Номер шага	Вид масштабной сетки	Расстояние до объекта	Координаты узла	Назначение
1		$d_1 = \frac{AB}{2k}$	$K_1 \left(\frac{AB}{2}; \frac{AD}{2} \right)$	Точка получения начального кадра для определения полезной площади исследования
2		$d_2 = \frac{d_1}{2}$	$K_2 \left(\frac{AB}{4}; \frac{AD}{4} \right)$	Сокращение расстояния до объекта в два раза
3		$d_3 = \frac{d_2}{2}$	$K_3 \left(\frac{AB}{8}; \frac{AD}{8} \right)$	Сокращение расстояния до объекта еще в два раза
...
n		$d_n = \frac{d_{n-1}}{2}$	$K_n \left(\frac{AB}{2^n}; \frac{AD}{2^n} \right)$	Доказывается методом математической индукции

Таким образом, вся полезная площадь исследования разбивается масштабной сеткой, которая определена углом раскрытия видеокамеры и высотой здания.

Направление полета задается на карте «полезной» площади в виде лога при указании последовательности точек.

На рисунке 4.5 показаны две предполагаемые траектории полета с указанием узлов фиксирования информации.

Непрерывная траектория (рисунок 4.5, а) позволяет сформировать видеопоток или фотопоток в разных направлениях (слева направо, справа налево) и вызывает сложности при склеивании развертки полезной площади исследования.

Траектория с разрывом требует серийности в траектории и холостого хода БПЛА (рисунок 4.5, б). Формирование точечной эталонной траектории формируется при первом обследовании технического устройства, здания или сооружения. Каждый из описанных видов траектории опробован при обследовании пилотных объектов.

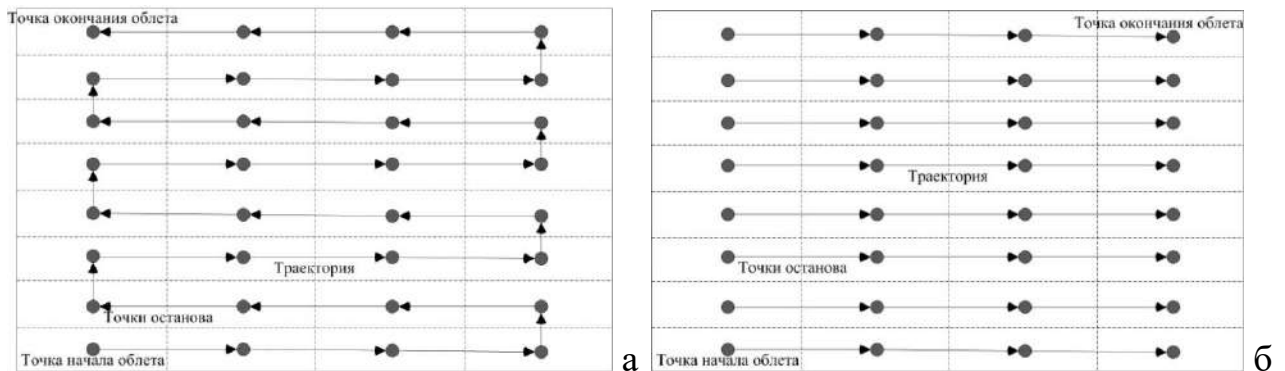


Рисунок 4.5 – Примеры траекторий движения БПЛА по узлам масштабной сетки «полезной» площади обследования: а – непрерывная траектория; б – траектория с разрывом

При использовании непрерывной траектории выявлены проблемы записи и позиционирования БПЛА по координате высоты без установки дополнительного модуля. Перспективным развитием работы является определение оптимальной воспроизводимой траектории полета при фронтальном исследовании поверхности объекта. Пилотажные экспериментальные исследования показали, что наилучший результат достигается при использовании траектории с разрывом с расстояния от 5 до 7,5 м до поверхности объекта.

4.3 Комплекс программных модулей для оценки состояния и динамики качества элементов опасных производственных объектов с использованием прикладной цифровой платформы

В главе 1 на рисунке 1.22 определены программные модули ПЦП, реализованные в настоящее время [318 – 332]. Реализация модулей происходила по мере расширения функций ПЦП и предполагает ее дальнейшее развитие. Тестирование и отладка программных моделей происходила на видеопотоках изображений, полученных в ходе проведения модельных и пилотажных экспериментов.

Исходными данными для работы программных модулей являются изображения элементов ОПО, полученные с помощью технических средств, включая БПЛА, после применения методики формализации. Схема методики приведена на рисунке 4.6.

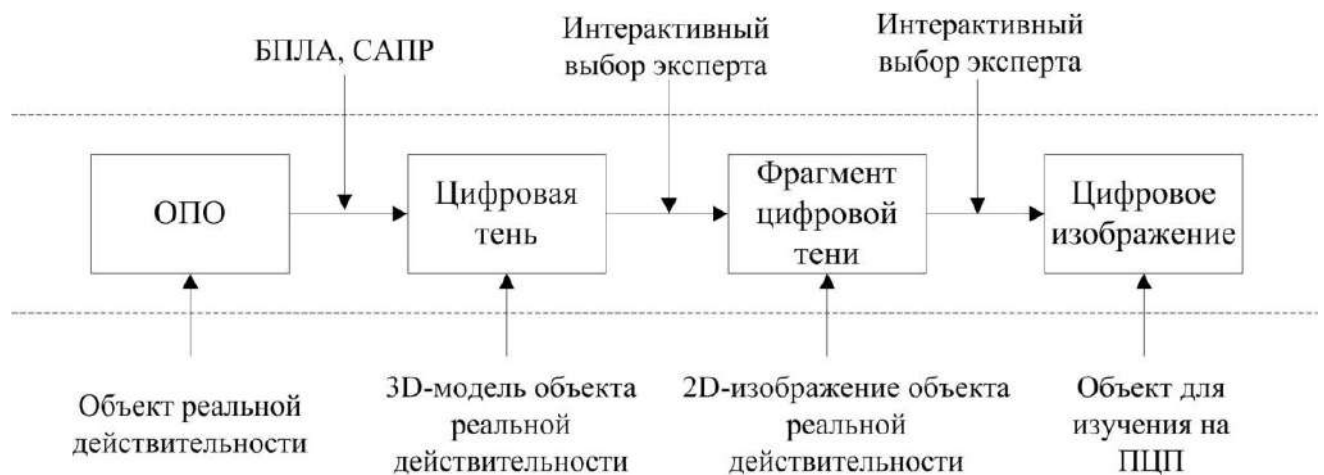


Рисунок 4.6 – Схема методики формализации ОПО, применяемая к объекту изучения на цифровой платформе: САПР – система автоматизированного проектирования

Суть методики состоит в переходе от объекта реальной действительности к возможному объекту, который используется цифровой платформой.

Согласно рисунку 4.1 на ПЦП определены две роли: технолог и эксперт. Технолог производит подготовку информации на основе ПЦП для использования экспертом в процессе экспертизы. В функции технолога входит получение информации о состоянии элемента ОПО с помощью технических средств, включая БПЛА, и передача на ПЦП для формирования цифрой тени. Используя цифровую

тень, эксперт определяет фрагменты, которые подвергаются тщательному исследованию и передаются как цифровые изображения на ПЦП в качестве исходных данных в комплекс программных модулей.

Комплекс программных модулей сформирован трехуровневым (рисунок 4.7). В настоящее время комплекс программных модулей содержит десять компонент.



Рисунок 4.7 – Карта программных модулей по уровням ПЦП для оценки текущего и будущего состояния элементов ОПО

Среди этих уровней выделены:

– уровень технологической подготовки исходных данных (цифрового изображения), который построен на типовых алгоритмах обработки изображений и необходим для приведения изображения к типовому виду (яркости и контрастности);

- уровень изучения текущего состояния объекта по выбранным экспертом изображениям цифровой тени для их сегментации и квалитметрической оценки;
- уровень прогнозирования будущего состояния элементов ОПО после оценки динамики изменения качества.

Между программными модулями определены информационные потоки, которые определяют порядок перехода между модулями и непосредственных исполнителей работ. Для отображения схемы информационных потоков введены обозначения исполнительных уровней: R – уровень исследователя (*Researcher*); T – уровень функционального технолога (*Technologist*); E – уровень эксперта (*Expert*). Уровень R предназначен для подготовки изображений к экспертной оценке. Уровень T предназначен для технологической обработки изображения. При указанных условиях сформирована информационная модель для оценки состояния и динамики качества элементов ОПО с использованием ПЦП (рисунок 4.8).

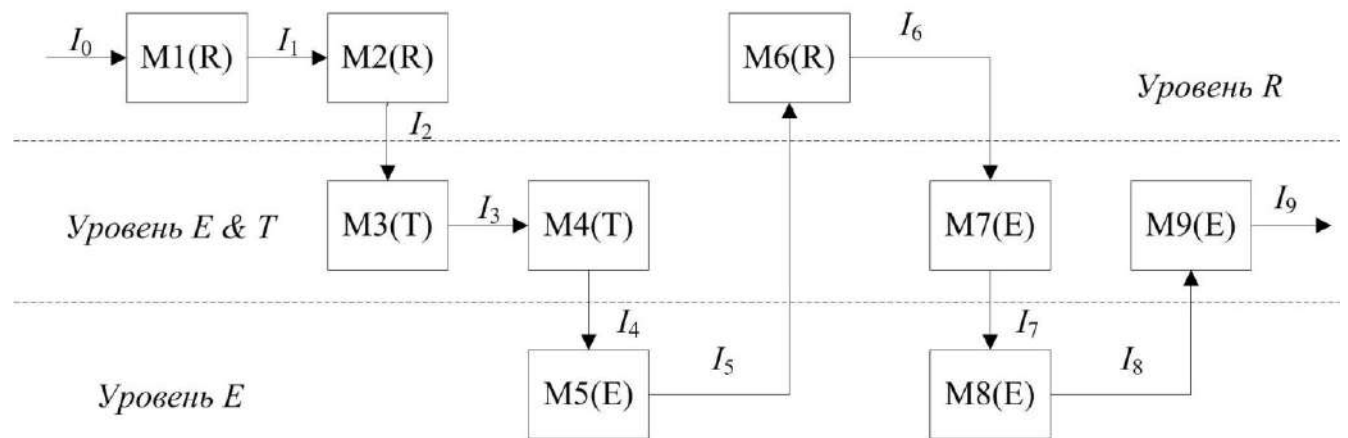


Рисунок 4.8 – Информационная модель для оценки состояния и динамики качества функционирования элементов ОПО с использованием ПЦП

На рисунке 4.8 введены обозначения информационных потоков: I_0 – кортеж $2D$ -изображений, принятых в программный комплекс; I_1 – кортеж $2D$ -изображений с разделением освещения (теплое, холодное); I_2 – кортеж $2D$ -изображений в градациях серого; I_3 – кортеж $2D$ -изображений в градациях серого и вектор объектов разрушения элементов ОПО; I_4 – кортеж $2D$ -изображений в градациях серого и вектор завершенных объектов разрушения; I_5 – кортеж $2D$ -изображений для сравнения нескольких состояний элементов ОПО; I_6 – кортеж $2D$ -изображений до

и после обработки модулями $M1-M5$; I_7 – кортеж $2D$ -изображений в виде дискретной карты обнаруженных разрушений; I_8 – кортеж $2D$ -изображений в виде дискретной карты обнаруженных разрушений текущего и нового прогнозируемого состояния; I_9 – кортеж $2D$ -изображений и вектор квалиметрических оценок цифровых показателей качества.

Аналитически информационная модель имеет вид

$$\begin{aligned}
 I_0 \rightarrow & (M1(R), I_1), (M2(R), I_2), (M3(T), I_3 = \{O_1, \dots, O_n\}), \\
 & (M4(T), I_4 = \{O'_1, \dots, O'_n\}), (M5(T), I_5 = \{O''_1, \dots, O''_n\}), \\
 & (M6(R), I_6 = \{O'''_1, \dots, O'''_n\}), (M7(E), I_7 = \|D_0\|), \\
 & (M8(E), I_8 = \|D_1\| - \|D_0\|), (M9(E), I_9 = \{O_k, \{QP\}\}) \rightarrow I_9,
 \end{aligned}$$

где $\{O_1, \dots, O_n\}$ – кортеж изображений, принятых в обработку и оценку; $\{O'_1, \dots, O'_n\}, \{O''_1, \dots, O''_n\}, \{O'''_1, \dots, O'''_n\}$ – кортеж изображений после обработки; $\|D_0\|$ – карта дефектов исходного изображения; $\|D_1\| - \|D_0\|$ – карта дефектов после сравнения текущего и будущего состояния; $\{O_k, \{QP\}\}$ – исходное изображение с набором квалиметрических оценок цифровых показателей; $M1$ – модуль изучения влияния освещенности на изменения яркости и контрастности; $M2$ – модуль перевода изображения в градации серого; $M3$ – модуль сегментации элементов разрушения поверхности элементов ОПО; $M4$ – модуль завершения и заливки формы разрушения поверхности элементов ОПО; $M5$ – модуль определения различий кадров во временных точках цифрового потока; $M6$ – модуль сравнения исходного и обработанного видеопотока; $M7$ – модуль формирования карты разрушения поверхности элементов ОПО; $M8$ – модуль интеграции нового состояния с картой разрушения поверхности элементов ОПО; $M9$ – модуль формирования квалиметрических оценок разрушения поверхности элементов ОПО.

Аналитическая информационная модель позволила сформировать структуру базы данных и синтезировать алгоритмы для функционирования каждого программного модуля ПЦП.

4.4 Алгоритмы анализа текущего и будущего состояния качества элементов опасных производственных объектов

Анализ текущего и будущего состояния элементов ОПО реализуется экспертами, и в результате анализа определяются как базовые, так новые цифровые показатели качества. Подготовительная работа с изображениями реализуется на основе типовых алгоритмов, для которых в настоящее время разработано множество программных библиотек, реализованных на базе платформы *Open CV*. Решение специализированных задач выполняется на основе оригинальных алгоритмов, разработанных автором.

Алгоритмы анализа текущего состояния элементов ОПО с использованием ПЦП.

Исходное изображение, загружаемое в комплекс программных модулей, является растровым и представляет собой цифровую матрицу. Для всех модулей с целью исключения влияния освещения в лаборатории и погодных условий при съемке объектов в условиях реального производства выполняется преобразование исходного изображения в оттенки серого по алгоритму пороговой бинаризации в модуле *M2*. Пример изображения лабораторного образца в градациях серого приведен на рисунке 4.9.

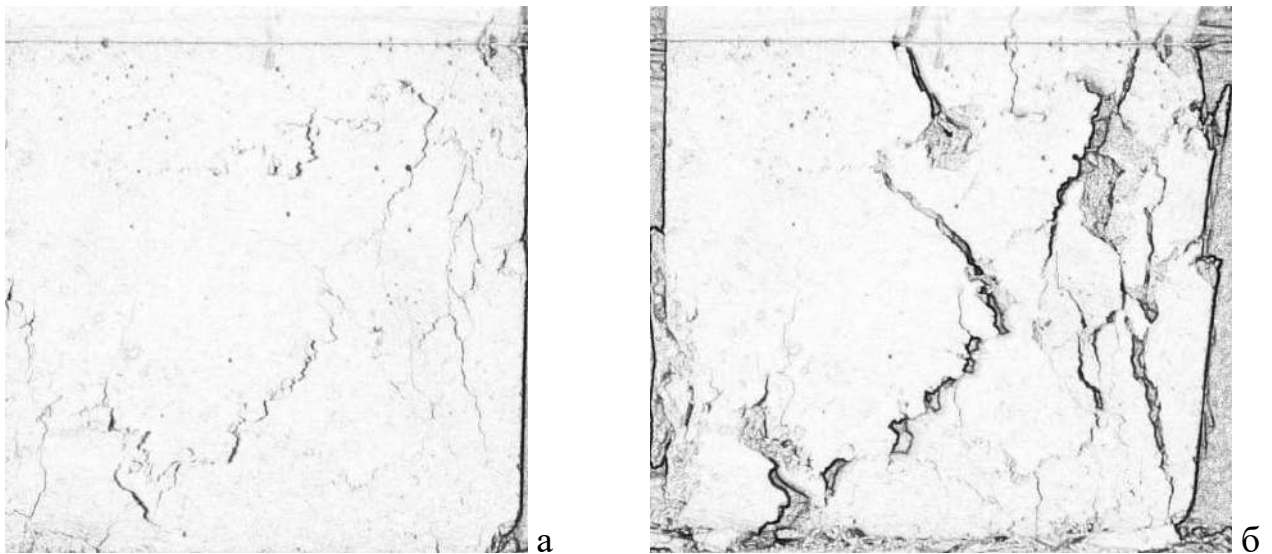


Рисунок 4.9 – Пример исходных изображений лабораторных образцов в оттенках серого: а – на начальной стадии разрушения; б – на завершающей стадии разрушения

Также вычислительные эксперименты проводились для изображений панельного жилого дома и промышленных зданий ПАО «ММК» (рисунок 4.10).

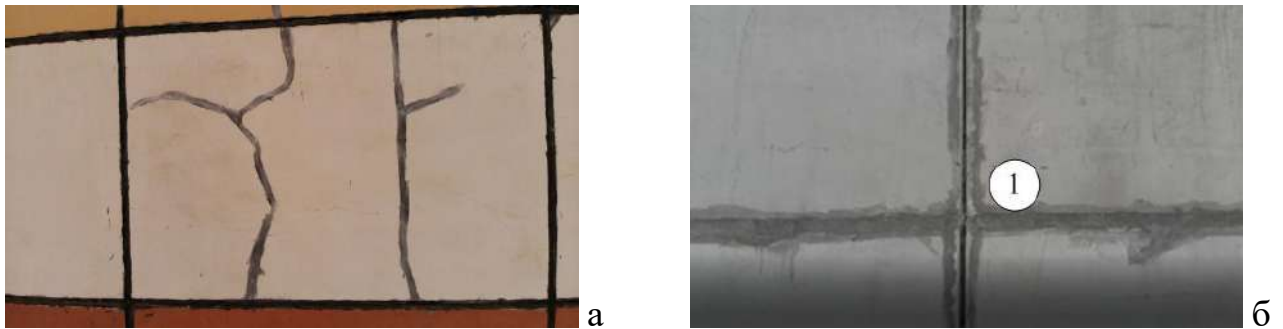


Рисунок 4.10 – Изображения для проведения вычислительного эксперимента:
а – панель жилого дома; б – изображения промышленного здания ПАО «ММК»;
1 – пример разрушения элементов заделки межпанельных швов

Модули *M3*, *M4* и *M7* предназначены для оценки текущего состояния исследуемого объекта. Схемы функционирования модулей по разработанным алгоритмам приведены на рисунках 4.11, 4.13.

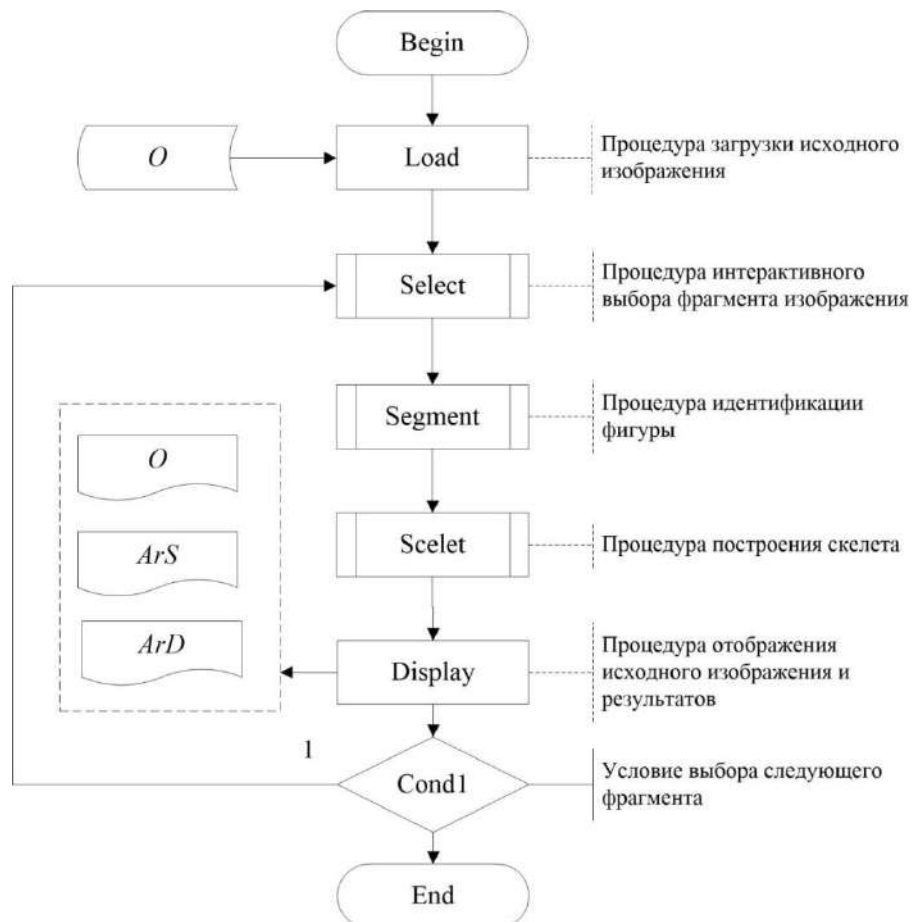


Рисунок 4.11 – Схема функционирования модуля сегментации разрушения элементов зданий и сооружений на ОПО

На рисунке 4.11 введены обозначения: O – исходные изображения; ArS – массив сегментов; ArD – карта дефектов.

Введем обозначение исходной матрицы изображения как $O = \|o_{m \times n}\|$, где m – количество строк в матрице изображений и n – количество столбцов.

Результаты вычислительного эксперимента на основе программного модуля $M3$ представлены на рисунке 4.12.

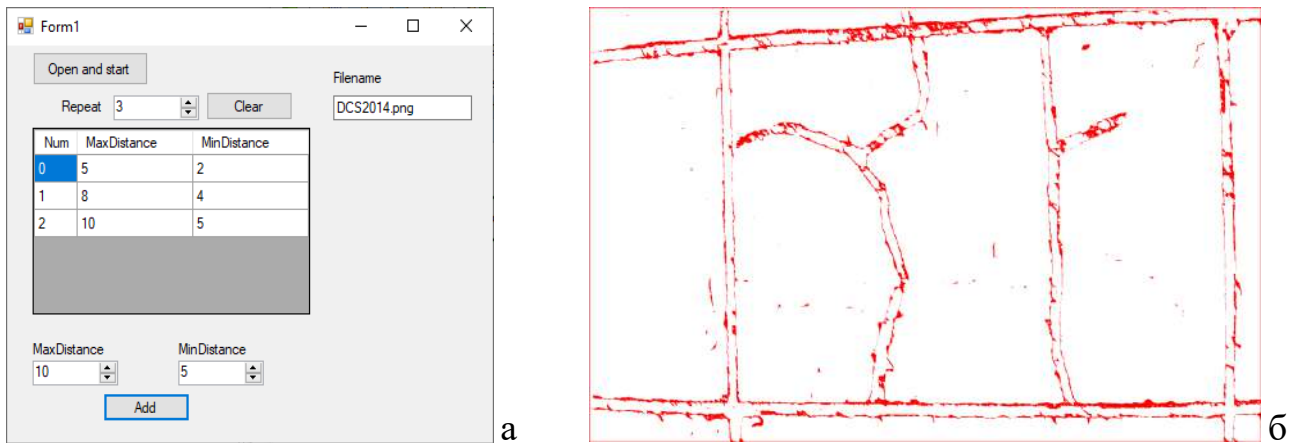


Рисунок 4.12 - Рабочие окна программного модуля $M3$: а – вид конфигуратора сегментированных объектов; б – сегментация объектов разрушения на изображении фасада здания

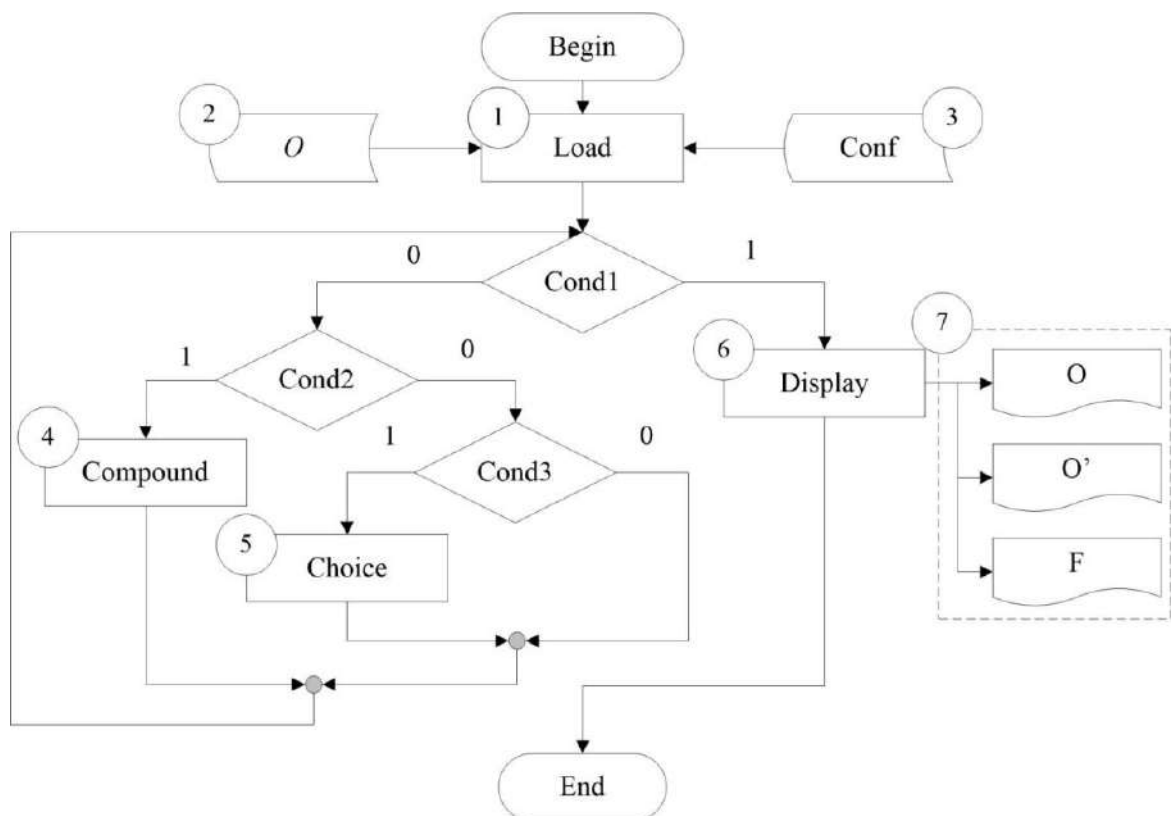


Рисунок 4.13 – Схема функционирования модуля по завершению фигур

На рисунке 4.13 введены обозначения: O – исходное изображение для завершения фигур; $Conf$ – файл конфигурации обнаруженных объектов разрушения; $Load$ – процедура загрузки исходного изображения в программный модуль $M4$; $Cond1$ – условие входа в цикл по содержимому файла конфигурации «Строка файла конфигурации не содержит записей?»; $Cond2$ – условие принадлежности текущего пикселя найденной фигуре «Текущий пиксель часть фигуры?»; $Compound$ – процедура соединения текущего пикселя с найденной фигурой»; $Cond3$ – условие прохождения всех пикселей изображения «Есть необработанный пиксель на изображении?»; $Choice$ – процедура выбора следующего пикселя изображения; $Display$ – процедура вывода результата; O' – изображение с завершенными дефектами; F – фрагменты изображений с завершенными объектами.

Алгоритмы, реализуемые в программных модулях, представляют собой преобразование матрицы O и добавление атрибутов матрицы после ее преобразования.

Результаты вычислительного эксперимента на основе программного модуля $M4$ приведены на рисунке 4.14.

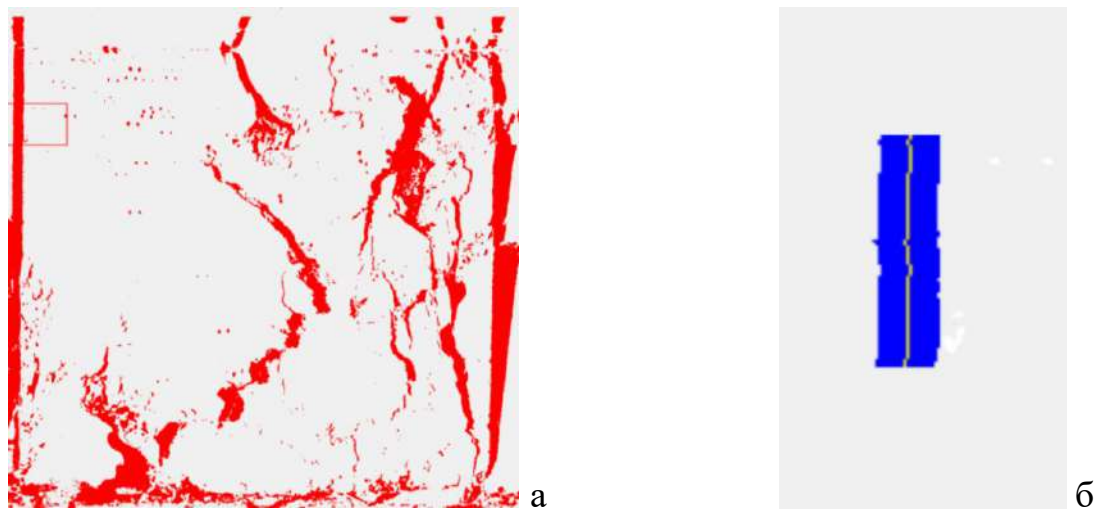


Рисунок 4.14 – Рабочие окна программного модуля $M4$:

а – исходное изображение после завершения фигур O' ; б – фрагмент изображения с завершенной фигурой по трещине на образце F

Таким образом, разработанные в рамках диссертационного исследования алгоритмы, позволяют выполнить анализ текущего состояния элементов ОПО с использованием ПЦП.

Алгоритм исследования динамики разрушения элементов ОПО с использованием ПЦП.

Механизмы обязательной оценки соответствия на ОПО МП реализуются путем осуществления непрерывного мониторинга соблюдения требований промышленной безопасности в форме производственного контроля за техническим состоянием технических устройств, зданий и сооружений. Поэтому при исследовании динамики разрушения объекта используют результаты лабораторных испытаний. Цель исследования состоит в прогнозировании состояния разрушения через заданные периоды времени и изучении их причин. Цифровая платформа позволила на основе накопленного материала разработать алгоритм для оценки динамики разрушения объектов. Блок-схема алгоритма оценки динамики приведена на рисунке 4.15.

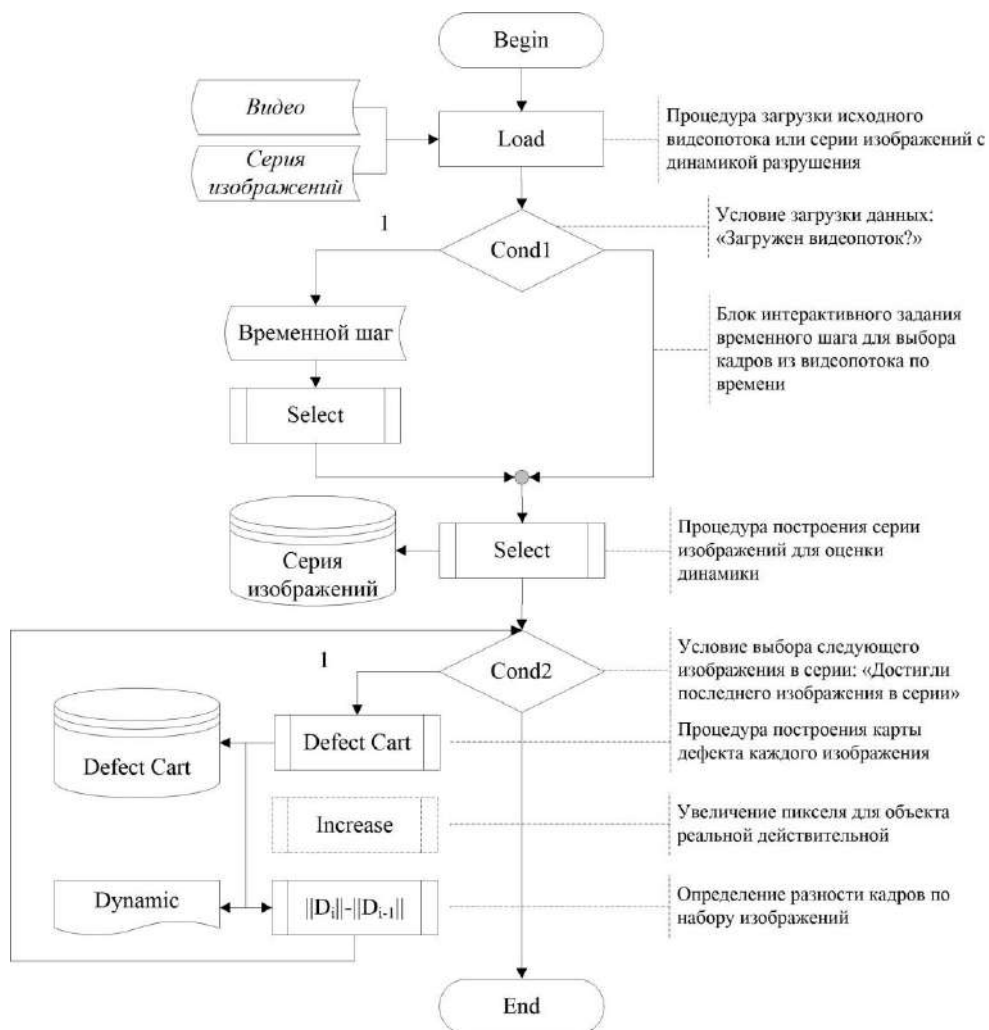


Рисунок 4.15 – Блок-схема алгоритма оценки динамики изменения состояния объекта

В алгоритме оценки динамики состояния объекта блок *Increase* подключается для режима работы с изображениями, для которых удаленность съемки составляет более 2 м и состояние камеры является нестационарным. Для этих условий добиться попиксельного сравнения изображений не удастся. Положительный результат получен при усреднении пикселей в квадрате 10×10 .

Примеры кадров видеоряда с указанием точек разрушения бетона класса В25 в динамике приведены на рисунках 4.16, 4.17.

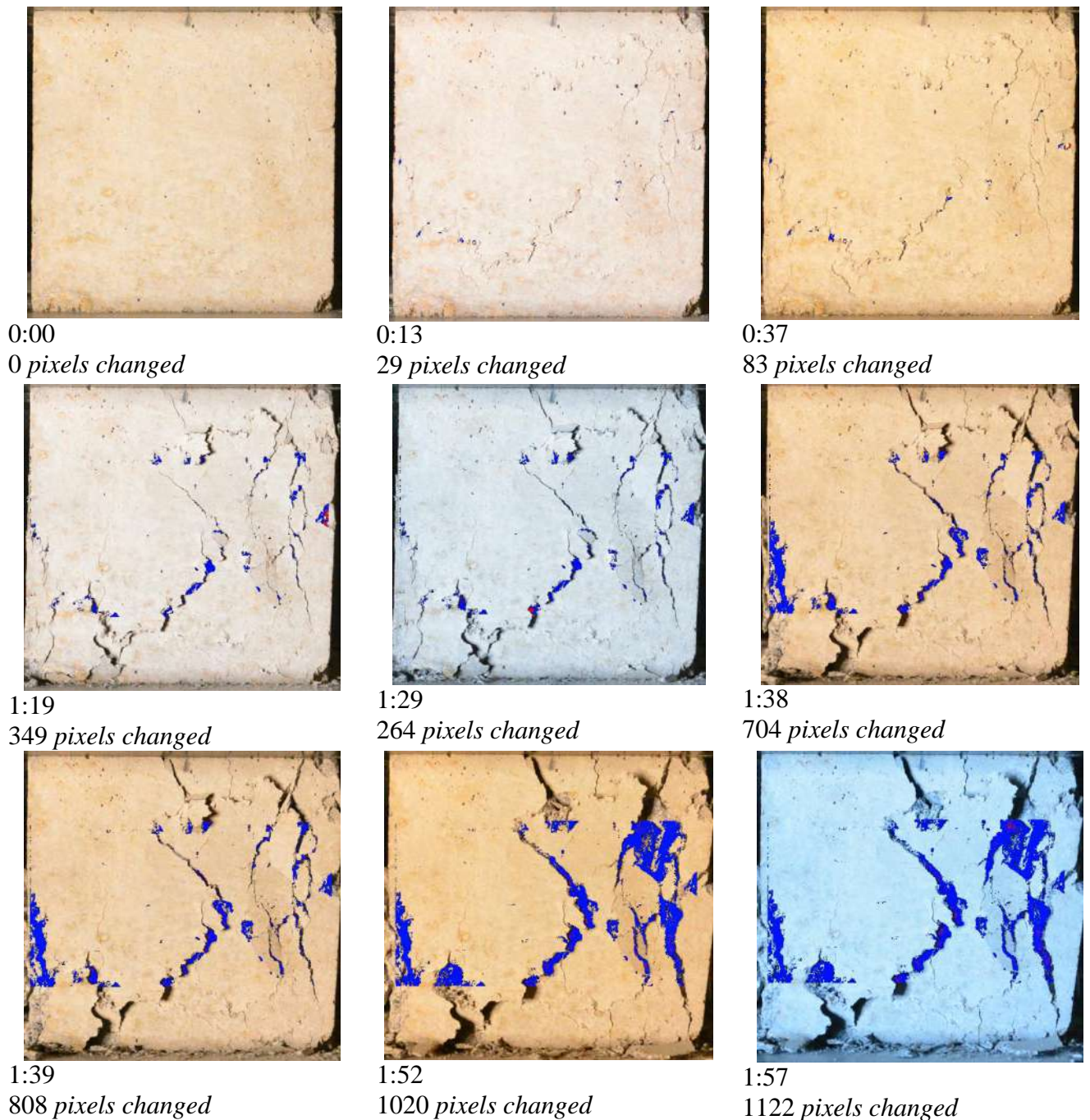
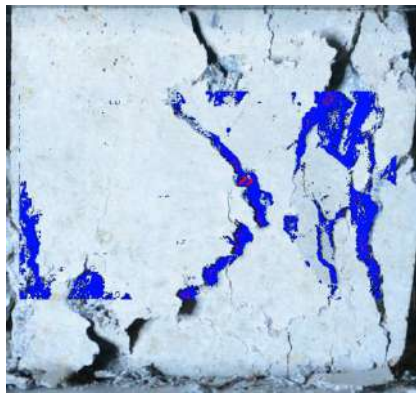
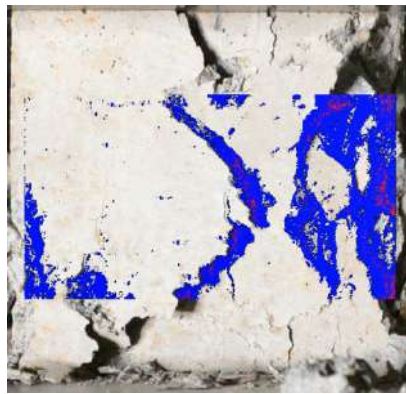


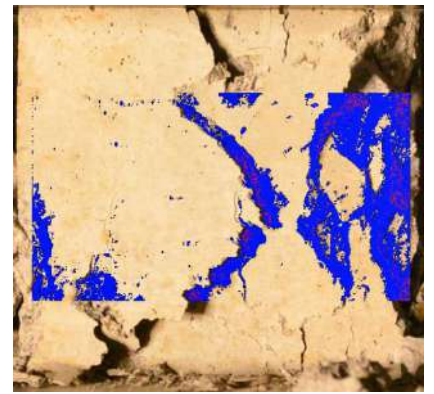
Рисунок 4.16 – Кадры видеоряда с точками разрушения на примере испытания лабораторного бетонного образца (начальная и средняя стадии разрушения)



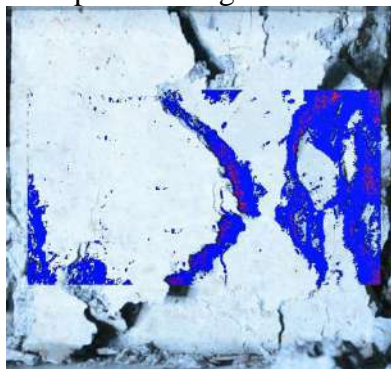
1:58
1182 pixels changed



2:20
4349 pixels changed



2:22
4805 pixels changed



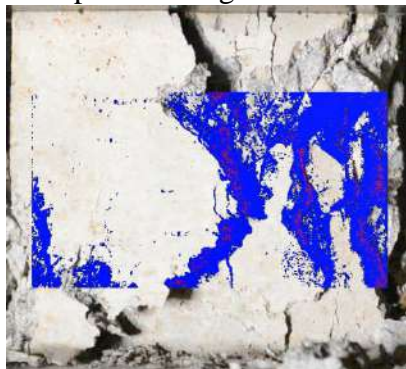
2:27
5099 pixels changed



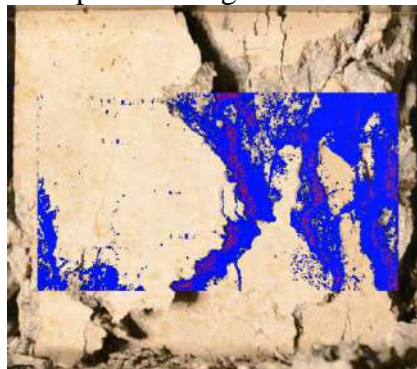
2:30
5847 pixels changed



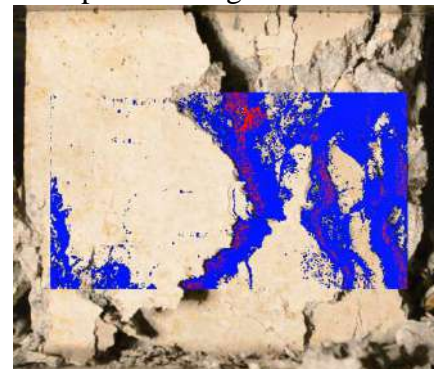
2:32
6291 pixels changed



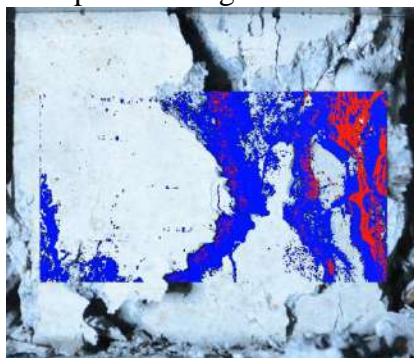
2:36
6647 pixels changed



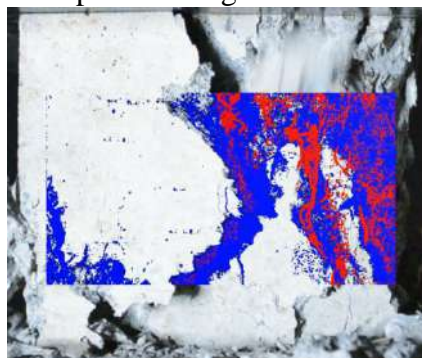
2:39
8276 pixels changed



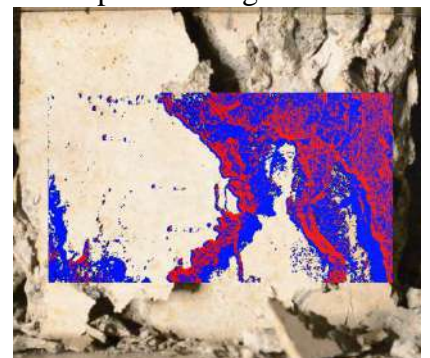
2:42
14232 pixels changed



2:43
27395 pixels changed



2:45
48828 pixels changed



2:58
79461 pixels changed

Рисунок 4.17 – Кадры видеоряда с точками разрушения на примере испытания лабораторного бетонного образца (конечная стадия разрушения)

На рисунках 4.16, 4.17 под каждым из представленных кадров видеоряда указаны: время кадра в видеопотоке в формате минуты: секунды и количество измененных пикселей в текущем кадре «*pixels changed*», в штуках.

На рисунке 4.18 представлены данные об общем количестве измененных пикселей в текущем кадре с момента начала испытаний, на рисунке 4.19 – о количестве измененных пикселей в текущем кадре, в штуках.

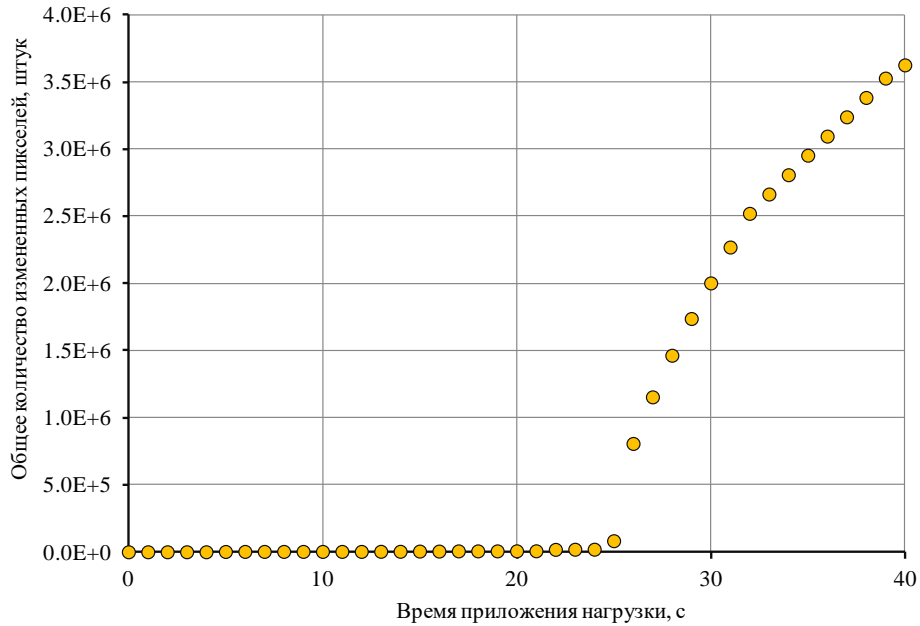


Рисунок 4.18 – Общее количество измененных пикселей «*pixels changed*» в текущем кадре, в штуках

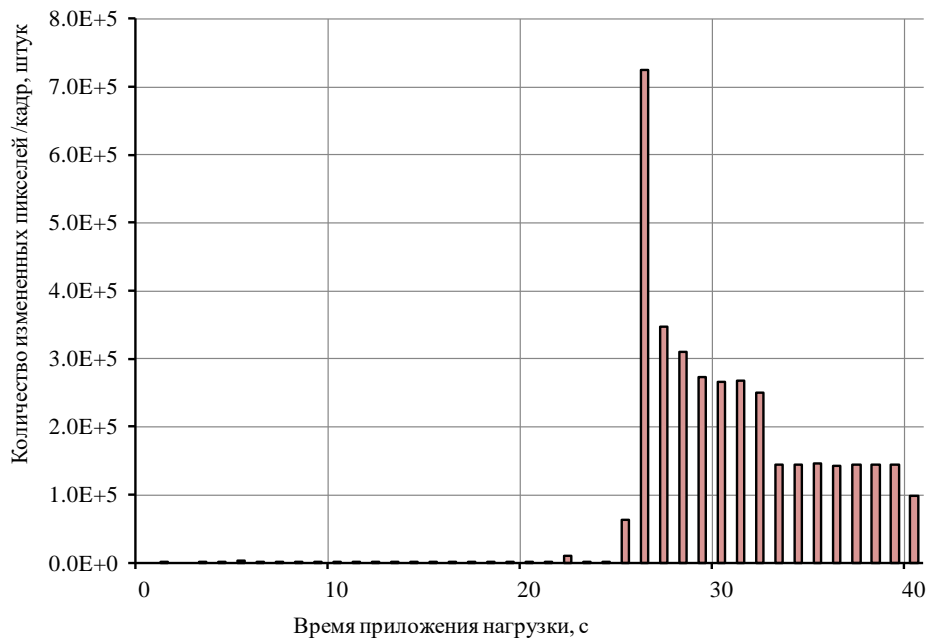


Рисунок 4.19 – Количество измененных пикселей «*pixels changed*» в текущем кадре, в штуках

Диаграмма с данными об общем количестве измененных пикселей в текущем кадре (кумулята) используется для определения количественных значений цифровых показателей, например площади разрушения образца или доли разрушенной площади из расчета 1 пиксель – 0,265 мм.

Столбчатая диаграмма позволяет оценить мгновенную скорость разрушения образца.

Примеры кадров видеорядов для некоторых классов бетона и диаграммы с данными об общем количестве измененных пикселей и количестве измененных пикселей в текущем кадре приведены в Приложениях Д, Е.

Таким образом, разработанные в рамках диссертационного исследования алгоритмы позволяют выполнить анализ динамики разрушения элементов ОПО с использованием ПЦП.

4.5 Выводы по главе 4

1. Для реализации комплексного инструментария мониторинга, оценки и повышения качества функционирования элементов ОПО МП на основе трехуровневого метода интегративной оценки качества синтезирована структура ПЦП, в состав которой вошли аппаратное обеспечение, программное обеспечение и персонал. Особенностью аппаратного обеспечения является использование БПЛА для выполнения фронтального обследования поверхности элементов ОПО.

2. В условиях использования БПЛА *DJI Mavic 2 Pro* автором предложены две модели траектории для движения БПЛА, которые базируются на итерационном приближении к объекту исследования и имеют либо непрерывную спиралевидную траекторию полета, либо траекторию с разрывами. В ходе пилотажного эксперимента-обследования определено понятие полезной площади объекта для выполнения экспертизы.

3. Программное обеспечение ПЦП построено на основе 10 программных модулей, которые распределены на три уровня: исследовательский, технологический и экспертный. Исходными данными каждого модуля являются: одиночное изображение, серия изображений или видеопоток. Автором разработана информационная модель движения информации, которая определяет ее трансформацию

от исходного состояния до набора квалитметрических характеристик качества элементов ОПО. Копии свидетельств о регистрации программ для ЭВМ (программных модулей ПЦП), патентов представлены в Приложении Ж.

4. При реализации программных модулей разработаны алгоритмы анализа текущего состояния элементов ОПО с использованием ПЦП. При разработке активно использованы передовые технологии графических библиотек *Open CV*, которые позволили акцентировать внимание на последовательности применения модулей стандартных библиотек и найти эффективные, с точки зрения быстродействия, программные решения. Особенностью разработанных алгоритмов является их универсальность в использовании при обработке изображений элементов ОПО независимо от погодных условий и освещения, а также формы объектов разрушения на их поверхности.

5 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТАРИЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ ОПАСНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ

5.1 Реализация комплексного инструментария для мониторинга, оценки и управления качеством функционирования элементов опасных производственных объектов металлургического предприятия

5.1.1 Оценка и управление качеством функционирования ковша сталеразливочного, эксплуатируемого на территории кислородно-конвертерного цеха ПАО «ММК»

Объект управления качеством – техническое устройство: ковш сталеразливочный, эксплуатируемый в составе ОПО «Участок электросталеплавильный (ОПП)» (II класс опасности), расположенный на территории кислородно-конвертерного цеха ПАО «ММК».

Общий вид ковша сталеразливочного представлен на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Общий вид ковша сталеразливочного

Ковш сталеразливочный предназначен для приема, транспортирования и разливки жидкой стали.

Технические характеристики ковша сталеразливочного приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Технические характеристики ковша сталеразливочного

№ п/п	Наименование параметра	Единица измерения	Значение
1	Год изготовления	–	1988 г.
2	Год ввода в эксплуатацию	–	1988 г.
3	Тип	–	НС-385
4	Стационарный номер	–	12
5	Масса стали	т	385,0
6	Масса шлака	т	4,7
7	Масса футеровки	т	59,0
8	Масса металлической части ковша	т	48,3
9	Общая масса ковша с жидким металлом и шлаком	т	497,0
10	Расстояние по осям крюков	мм	5500
11	Диаметр цапф под крюк	мм	500
12	Длина цапфы для захвата крюками	мм	280
13	Запас прочности цапф при 10% износе	–	8,5

Требуется установить соответствие состояния технического устройства: ковш сталеразливочный, эксплуатируемый в составе ОПО «Участок электросталеплавильный (ОПП)» (II класс опасности), расположенный на территории кислородно-конвертерного цеха ПАО «ММК», требованиям нормативных правовых актов и стандартов Российской Федерации на основе предложенного трехуровневого комплекса инструментов управления качеством функционирования элементов ОПО.

Уровень 1. Определение лингвистической переменной и ее терм, разделение показателей качества на две группы: базовые и цифровые.

1.1. Согласно техническому заданию на проведение экспертизы элемента ОПО определяем основные нормативные документы, содержащие требования и показатели для оценки:

– Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ;

– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности процессов получения или применения металлов» (Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 09.12.2020 г. № 512);

– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» (Приказ Ростехнадзора от 20.10.2020 г. № 420);

– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах» (Приказ Ростехнадзора от 01.12.2020 г. № 478);

– ГОСТ Р 27.102-2021 «Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения».

1.2. Согласно идентифицированным документам определяем:

– лингвистическая переменная U_0 – состояние технического устройства ковша сталеразливочного, эксплуатируемого на территории кислородно-конвертерного цеха ПАО «ММК»;

– лингвистическая переменная 1-го уровня – решение, полученное на основе базовых показателей качества X_{Bi} .

В результате проведения экспертизы экспертом выбраны основные показатели качества (в соответствии с обнаруженными дефектами и повреждениями).

Определим нечеткое множество в виде

$$X_B = \{X_{B1}, X_{B2}, X_{B3}\},$$

где X_{B1} – значение величины износа цапфы ковша, в процентах от первоначальных размеров; X_{B2} – значение величины коррозионного износа обечаяек и днища ковша, %; X_{B3} – ширина раскрытия трещин основного металла ребра жесткости и корпуса ковша, мм.

Лингвистическая переменная 1-го уровня – решение, полученное на основе цифровых показателей качества X_{Di} .

Экспертом определен состав цифровых показателей качества в виде

$$X_D = \{X_{D1}, X_{D2}\},$$

где X_{D1} – наличие или отсутствие раковин, трещин в стенках и местах крепления цапф на цифровом изображении ковша; X_{D2} – ширина раскрытия трещин основного металла ребра жесткости и корпуса ковша, мм.

1.3. Назначим экспертно ранги предпочтения для каждой термы, используя смысловые значения базовых и цифровых показателей качества (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Ранги предпочтения для каждой термы лингвистической переменной для базовых и цифровых показателей качества

Статус	Ранг
Исправное состояние	5
Работоспособное состояние	4
Ограниченно работоспособное состояние	3
Недопустимое состояние	2
Аварийное состояние	1

1.4. Закрепим за каждой термой перечень мероприятий для проведения на элементах ОПО согласно п. 3.4, таблица 3.6.

Уровень 2. Получение решения для компонент 1-го уровня для базовых и цифровых показателей качества.

2.1. Для каждого показателя качества с использованием экспертных оценок определить ключевые точки изменения технического состояния объекта согласно положениям действующей нормативной и технической документации.

Для лингвистической переменной Y_1 :

$$\mu_{x_{B1}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,80}{3,00}; \frac{0,50}{5,50}; \frac{0,15}{8,00}; \frac{0,00}{10,00} \right\},$$

$$\mu_{x_{B2}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,80}{1,50}; \frac{0,50}{3,00}; \frac{0,15}{4,00}; \frac{0,00}{5,00} \right\},$$

$$\mu_{x_{B3}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,80}{4,00}; \frac{0,60}{6,00}; \frac{0,30}{8,00}; \frac{0,00}{10,00} \right\}.$$

Для лингвистической переменной Y_2 :

$$\mu_{x_{D1}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,00}{0,00}; \frac{0,00}{1,20} \right\},$$

$$\mu_{x_{D2}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,80}{4,00}; \frac{0,60}{6,00}; \frac{0,30}{8,00}; \frac{0,00}{10,00} \right\}.$$

2.2. Выполним аппроксимацию функций принадлежности объекта к заданному техническому состоянию для базовых (рисунок 5.2) и цифровых (рисунок 5.3) показателей качества, отобразив на них экспертные точки, соответствующие фактическим значениям базовых и цифровых показателей качества.

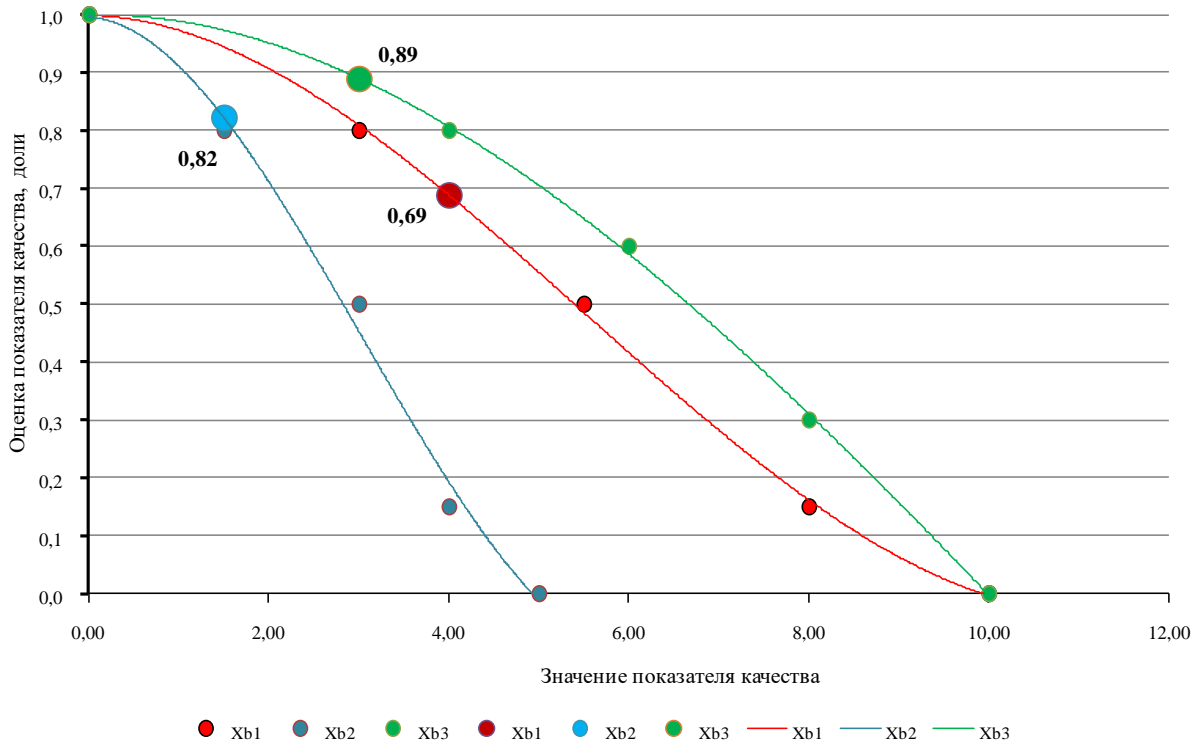


Рисунок 5.2 – Аппроксимация функций принадлежности по базовым показателям качества X_{B1}, X_{B2}, X_{B3}

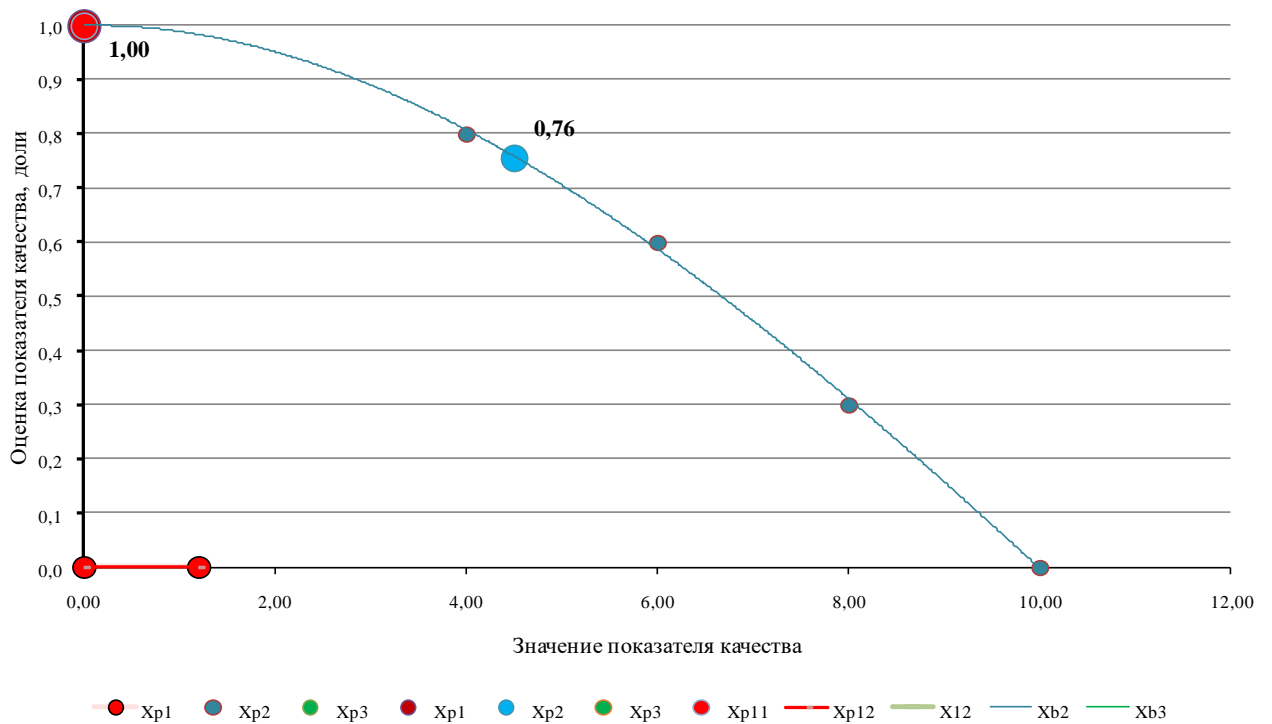


Рисунок 5.3 – Аппроксимация функций принадлежности по цифровым показателям качества X_{D1}, X_{D2}

При аппроксимации функций принадлежности объекта к заданному техническому состоянию получены следующие зависимости:

$$\mu_{x_{B1}} = 0,0004x_{B1}^3 - 0,0145x_{B1}^2 + 0,0031x_{B1} + 0,9993, \quad (5.1)$$

$$\mu_{x_{B2}} = 0,0015x_{B2}^3 - 0,0248x_{B2}^2 - 0,0024x_{B2} + 0,9983, \quad (5.2)$$

$$\mu_{x_{B3}} = 0,0095x_{B3}^3 - 0,086x_{B3}^2 - 0,008x_{B3} + 0,9953, \quad (5.3)$$

$$\mu_{x_{D1}} = 0,0004x_{D1}^3 - 0,0145x_{D1}^2 + 0,0031x_{D1} + 0,999, \quad (5.4)$$

$$\mu_{x_{D2}} = \begin{cases} 1, & x_{D2} = 0; \\ 0, & x_{D2} > 0 \end{cases} \quad (5.5)$$

где $\mu_{x_{B1}}, \mu_{x_{B2}}, \mu_{x_{B3}}$ – значения оценок для базовых показателей качества элемента ОПО; $\mu_{x_{D1}}, \mu_{x_{D2}}$ – количественные значения оценок для цифровых показателей качества элемента ОПО; x_{B1}, x_{B2}, x_{B3} , – значения базовых показателей качества; x_{D1}, x_{D2} – значения цифровых показателей качества.

2.3. Воспользуемся правилами принятия решений для компонент Y_1 (таблица 5.3) и Y_2 (таблица 5.4) согласно выражениям (3.17) – (3.19).

Таблица 5.3 – Определение статуса для компоненты Y_1

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Диапазон оценки	Решение о статусе	Описание статуса
X_{B1}	4,0	0,69	[0,50÷0,80)	4	Работоспособное
X_{B2}	1,5	0,82	[0,80÷1,00)	5	Исправное
X_{B3}	3,0	0,89	[0,80÷1,00)	5	Исправное

Таблица 5.4 – Определение статуса для компоненты Y_2

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Диапазон оценки	Решение о статусе	Описание статуса
X_{D1}	0,00	1,00	>0,00	5	Исправное
X_{D2}	4,50	0,76	(0,80÷0,60]	4	Работоспособное

2.4. Применим правила принятия решений (3.17) – (3.19) для показателей качества элементов ОПО, выбранных в ходе экспертной оценки с указанием степени принадлежности ко всем состояниям.

Полученные параметры по базовым показателям качества сведены в таблицу 5.5, по цифровым – в таблицу 5.6.

Таблица 5.5 – Определенные параметры по базовым показателям качества

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Общее решение
X_{B1}	4,0	0,69	4	4	4
X_{B2}	1,5	0,82	5	5	
X_{B3}	3,0	0,89	5	5	

Таблица 5.6 – Определенные параметры по цифровым показателям качества

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Общее решение
X_{D1}	0,00	1,00	5	5	4
X_{D2}	4,50	0,76	4	4	

Уровень 3. Использование принципа суперпозиции для гармонизации решения, полученного на основе базовых показателей с учетом квалиметрических значений цифровых показателей.

3.1. Используем принцип суперпозиции, построенный согласно предпочтению рангов каждой из компонент Y_1 и Y_2 : с учетом равенства рангов результирующих терм Y_1 и Y_2 итоговый статус принятия решений остается неизменным: 4.

3.2. Формулируем вывод о значении лингвистической переменной с указанием степени принадлежности каждого показателя к статусу опасности (таблица 5.7) и идентифицируем список мероприятий для проведения на элементах ОПО (п. 3.4, таблица 3.7).

Таблица 5.7 – Степень принадлежности показателей качества к статусу опасности

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Описание статуса
X_{B1}	4,0	0,69	4	4	Работоспособное
X_{B2}	1,5	0,82	5	5	Исправное
X_{B3}	3,0	0,89	5	5	Исправное
X_{D1}	0,00	1,00	5	5	Исправное
X_{D2}	4,50	0,76	4	4	Работоспособное

3.3. Устанавливаем итоговый вывод о соответствии (не в полной мере соответствии, несоответствие) элемента ОПО требованиям нормативных правовых актов и стандартов Российской Федерации, исходя из соотнесения принятого решения ($Status_i$) возможности эксплуатации.

Соотношение статуса с решением о возможности эксплуатации элемента ОПО (объекта экспертной оценки) исходя из требований нормативных правовых актов и стандартов Российской Федерации представлено в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Соотношение статуса с решением о возможности эксплуатации элемента ОПО

Описание статуса	Ранг	Решение
Исправное состояние	5	Соответствует
Работоспособное состояние	4	
Ограниченно работоспособное состояние	3	Не в полной мере соответствует
Недопустимое состояние	2	Не соответствует
Аварийное состояние	1	

На основе реализации метода интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО: ковш сталеразливочный, эксплуатируемый в составе ОПО «Участок электросталеплавильный (ОПП)» (II класс опасности), расположенный на территории кислородно-конвертерного цеха ПАО «ММК», сделан вывод о соответствии рассматриваемого объекта требованиям нормативных правовых актов и стандартов Российской Федерации.

3.4. Назначаем управляющее воздействие, направленное на изменение показателей качества технического состояния элемента ОПО.

С учетом соответствия технического устройства: ковш сталеразливочный, эксплуатируемый в составе ОПО «Участок электросталеплавильный (ОПП)» (II класс опасности), расположенного на территории кислородно-конвертерного цеха ПАО «ММК», предъявляемым требованиям, управляющего воздействия, направленного на изменение показателей качества его технического состояния, не требуется.

5.1.2 Оценка и управление качеством функционирования здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8 на опасном производственном объекте ПАО «ММК»

Одним из объектов, рассматриваемых в работе, является здание главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8, находящееся на промышленной площадке ПАО «ММК» и входящее в состав ОПО «Цех по производству проката № 8», зарегистрированного в государственном реестре ОПО (II класс опасности).

Общий вид производственных двух помещений внутри здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8 представлен на рисунке 5.4.



Рисунок 5.4 – Общий вид производственных помещений внутри здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8: а – общий вид пролета «К–Л»; б – общий вид пролета «Л–М»

В здании главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8 размещено профилегибочное оборудование, агрегаты продольной резки, агрегат горячего оцинкования, трубоэлектросварочный агрегат, осуществляющие следующие технологические процессы: прием и подготовку заготовок, транспортировку заготовок к профилегибочным станкам, процесс профилирования, сортировку, приемку, упаковку, хранение и отгрузку готовой продукции.

Общие сведения об объекте приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Общие сведения об объекте экспертной оценки

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1. Общие сведения		
1	Организация-проектировщик, год разработки проектной документации	Магнитогорский ГИПРОМЕЗ, 1972-1973 гг.
2	Строительно-монтажная организация	Трест «Магнитострой»
3	Год ввода в эксплуатацию	1975 г.
4	Нормативный срок эксплуатации здания, установленный проектной документацией	Не установлен
5	Площадь застройки	60860,0 м ²
6	Строительный объем объекта	1123850,0 м ³
7	Количество этажей	1
8	Конструктивная система	Каркасная
9	Наличие грузоподъемного оборудования	Краны мостовые электрические
10	Категория здания по пожарной и взрывопожарной опасности	Г – умеренная пожароопасность
11	Уровень ответственности	Повышенный
2. Параметры эксплуатационной среды		
12	Освещение	Естественное и искусственное
13	Отопление	Воздушное конвекторами
14	Вентиляция	Приточно-вытяжная
15	Степень агрессивности среды	Неагрессивная

Требуется установить соответствие состояния здания главного корпуса ЛПЦ № 8 на ОПО ПАО «ММК» требованиям нормативных правовых актов и стандартов Российской Федерации на основе показателей экспертной оценки.

Уровень 1. Определение лингвистической переменной и ее терм, разделение показателей качества на две группы: базовые и цифровые.

1.1. Согласно техническому заданию на проведение оценки качества элемента ОПО определяем основные нормативные документы, содержащие требования и показатели:

– Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ;

– Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ;

– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» (Приказ Ростехнадзора от 26.11.2020 г. № 461);

– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» (Приказ Ростехнадзора от 20.10.2020 г. № 420);

– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах» (Приказ Ростехнадзора от 01.12.2020 г. № 478);

– СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений»;

– СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции»;

– СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции»;

– СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»;

– СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии»;

– СП 56.13330.2011 «Производственные здания»;

– СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»;

– СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции»;

– «Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам», 2001.

1.2. Согласно идентифицированным документам определяем:

– лингвистическая переменная U_0 – техническое состояние здания главного корпуса ЛПЦ № 8 на ОПО ПАО «ММК»;

– лингвистическая переменная 1-го уровня – решение, полученное на основе базовых показателей качества X_{Bi} .

В результате проведения экспертизы экспертом выбраны основные показатели качества (в соответствии с обнаруженными дефектами и повреждениями).

Определим нечеткое множество в виде

$$X_B = \{X_{B1}, X_{B2}, X_{B3}\},$$

где X_{B1} – величина снижения прочности бетона несущих железобетонных конструкций, доли от проектного значения; X_{B2} – величина раскрытия трещин в подкрановых балках, мм; X_{B3} – величина относительного прогиба несущих конструкций балок, элементов покрытия $\times 10^{-2}$, мм.

Лингвистическая переменная 1-го уровня – решение, полученное на основе цифровых показателей качества X_{Di} .

Экспертом определен состав цифровых показателей качества в виде

$$X_D = \{X_{D1}, X_{D2}, X_{D3}\},$$

где X_{D1} – наличие или отсутствие определенных трещин на цифровом изображении подкрановых балок; X_{D2} – скорость роста протяженности трещин подкрановых балок, м/год; X_{D3} – скорость раскрытия трещин подкрановых балок, мм/год.

1.3. Назначим экспертно ранги предпочтения для каждой термы, используя смысловые значения базовых и цифровых показателей качества (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Ранги предпочтения для каждой термы лингвистической переменной для базовых и цифровых показателей качества

Статус	Ранг
Исправное состояние	5
Работоспособное состояние	4
Ограниченно работоспособное состояние	3
Недопустимое состояние	2
Аварийное состояние	1

1.4. Закрепим за каждой термой перечень мероприятий для проведения на элементах ОПО согласно п. 3.4, таблица 3.7.

Уровень 2. Получение решения для компонент 1-го уровня для базовых и цифровых показателей качества.

2.1. Для каждого показателя качества с использованием экспертных оценок определим ключевые точки изменения технического состояния объекта согласно положениям СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».

Для лингвистической переменной Y_1 :

$$\mu_{x_{B1}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,95}{0,05}; \frac{0,50}{0,15}; \frac{0,09}{0,25}; \frac{0,00}{0,30} \right\},$$

$$\mu_{x_{B2}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,95}{0,10}; \frac{0,90}{0,30}; \frac{0,60}{0,50}; \frac{0,00}{1,00} \right\},$$

$$\mu_{x_{B3}} = \left\{ \frac{1,00}{0,24}; \frac{0,90}{0,40}; \frac{0,80}{0,60}; \frac{0,37}{0,80}; \frac{0,00}{1,20} \right\}.$$

Для лингвистической переменной Y_2 :

$$\mu_{x_{D1}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,00}{0,00}; \frac{0,00}{1,20} \right\},$$

$$\mu_{x_{D2}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,80}{0,20}; \frac{0,60}{0,40}; \frac{0,40}{0,60}; \frac{0,00}{1,00} \right\},$$

$$\mu_{x_{D3}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,80}{0,10}; \frac{0,60}{0,20}; \frac{0,10}{0,40}; \frac{0,00}{0,50} \right\}.$$

2.2. Выполним аппроксимацию функций принадлежности объекта к заданному техническому состоянию для базовых (рисунок 5.5) и цифровых (рисунок 5.6) показателей качества, отобразив на них экспертные точки, соответствующие фактическим значениям базовых и цифровых показателей качества.

При аппроксимации функций принадлежности объекта к заданному техническому состоянию получены следующие зависимости:

$$\mu_{x_{B1}} = 77,333x_{B1}^3 - 35,127x_{B1}^2 + 0,2446x_{B1} + 1,0049, \quad (5.6)$$

$$\mu_{x_{B2}} = 1,764x_{B2}^3 - 3,1458x_{B2}^2 + 0,4004x_{B2} + 0,9804, \quad (5.7)$$

$$\mu_{x_{B3}} = 2,813x_{B3}^3 - 6,2876x_{B3}^2 + 3,0066x_{B3} + 0,5822, \quad (5.8)$$

$$\mu_{x_{D1}} = \begin{cases} 1, & x_{D1} = 0; \\ 0, & x_{D1} > 0 \end{cases} \quad (5.9)$$

$$\mu_{x_{D2}} = -x_{D2} + 1, \quad (5.10)$$

$$\mu_{x_{D3}} = 9,3137x_{D3}^3 - 6,2605x_{D3}^2 - 1,194x_{D3} + 0,9937, \quad (5.11)$$

где $\mu_{x_{B1}}, \mu_{x_{B2}}, \mu_{x_{B3}}$ – значения оценок для базовых показателей качества элемента ОПО; $\mu_{x_{D1}}, \mu_{x_{D2}}, \mu_{x_{D3}}$ – количественные значения оценок для цифровых показателей качества элемента ОПО; x_{B1}, x_{B2}, x_{B3} – значения базовых показателей качества; x_{D1}, x_{D2}, x_{D3} – значения цифровых показателей качества.

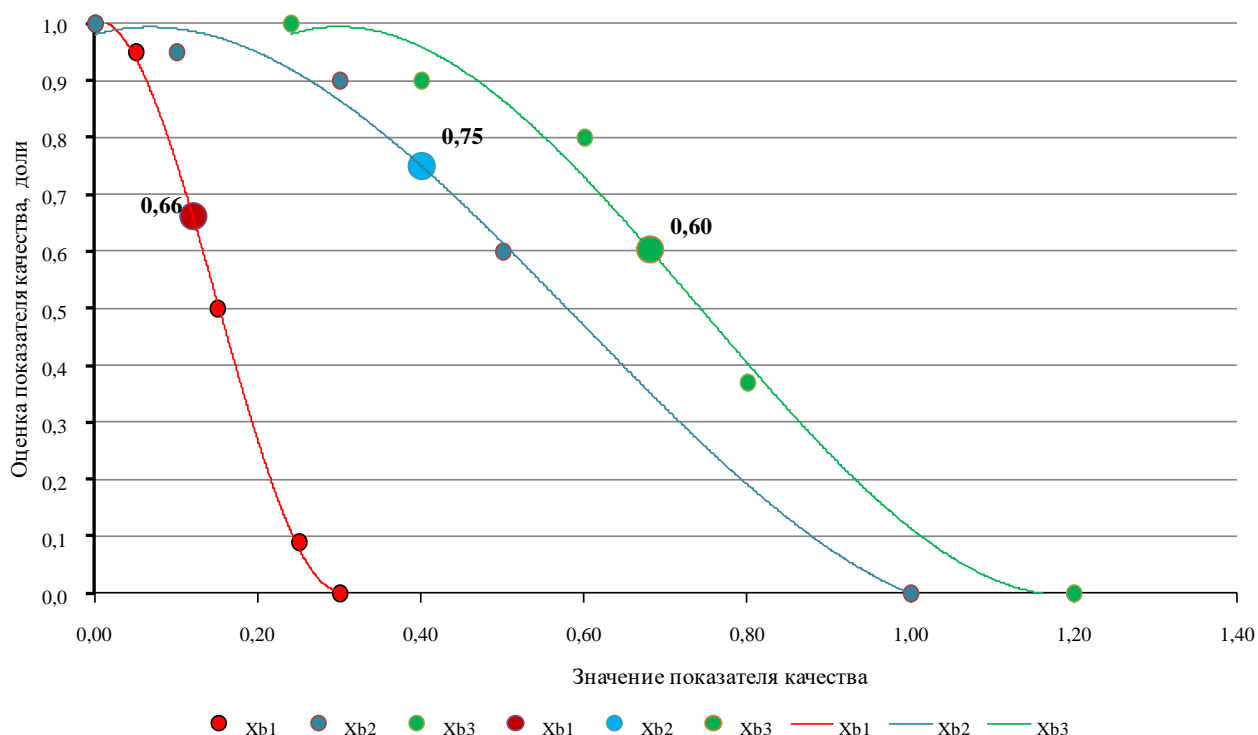


Рисунок 5.5 – Аппроксимация функций принадлежности по базовым показателям качества X_{B1}, X_{B2}, X_{B3}

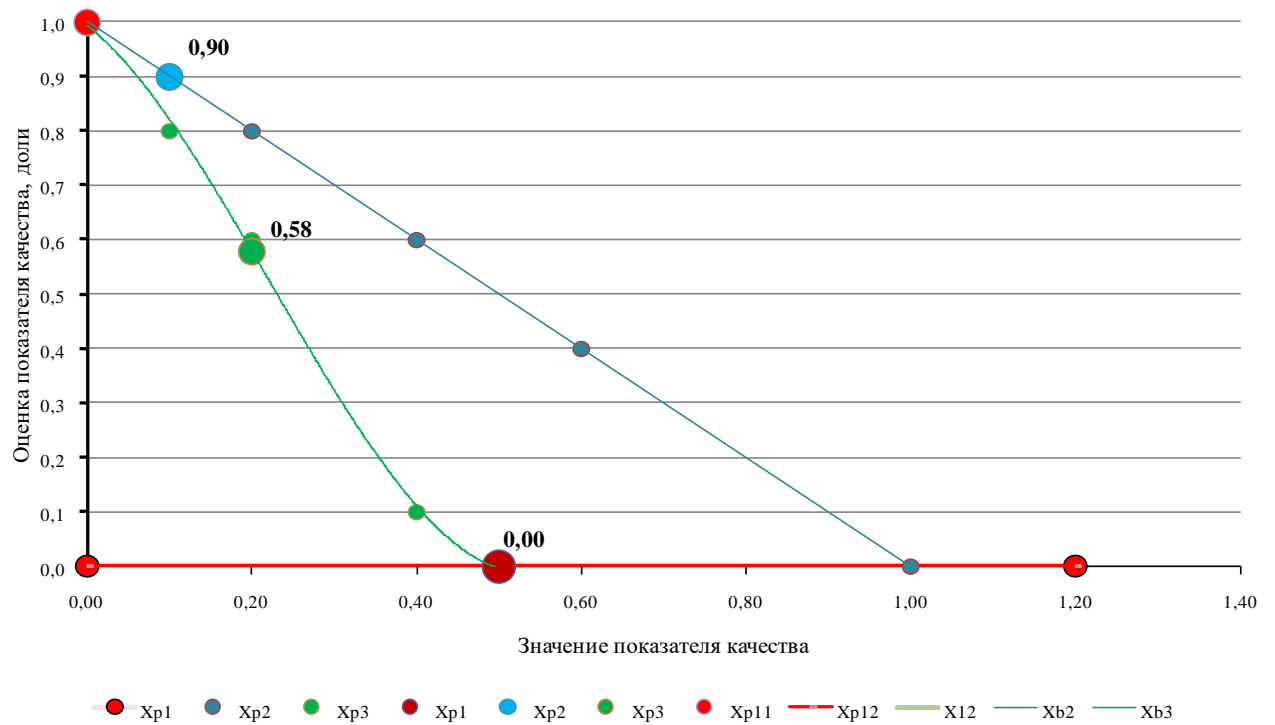


Рисунок 5.6 – Аппроксимация функций принадлежности по цифровым показателям качества X_{D1} , X_{D2} , X_{D3}

2.3. Воспользуемся правилами принятия решений для компонент Y_1 (таблица 5.11) и Y_2 (таблица 5.12) согласно выражениям (3.17) – (3.19).

Таблица 5.11 – Определение статуса для компоненты Y_1

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Диапазон оценки	Решение о статусе	Описание статуса
X_{B1}	0,12	0,66	[0,50÷0,95)	4	Работоспособное
X_{B2}	0,40	0,75	[0,60÷0,90)	3	Ограниченно работоспособное
X_{B3}	0,68	0,60	[0,37÷0,80)	3	Ограниченно работоспособное

Таблица 5.12 – Определение статуса для компоненты Y_2

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Диапазон оценки	Решение о статусе	Описание статуса
X_{D1}	0,50	0,00	>0,00	4	Работоспособное
X_{D2}	0,10	0,90	(0,80÷1,00]	5	Исправное
X_{D3}	0,20	0,58	(0,00÷0,40]	3	Ограниченно работоспособное

2.4. Применим правила принятия решений (3.17) – (3.19) для показателей качества элементов ОПО, выбранных в ходе экспертной оценки с указанием степени принадлежности ко всем состояниям.

Полученные параметры по базовым показателям качества сведены в таблицу 5.13, по цифровым – в таблицу 5.14.

Таблица 5.13 – Определенные параметры по базовым показателям качества

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Общее решение
X_{B1}	0,12	0,66	4	4	3
X_{B2}	0,40	0,75	3	3	
X_{B3}	0,68	0,60	3	3	

Таблица 5.14 – Определенные параметры по цифровым показателям качества

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Общее решение
X_{D1}	0,50	0,00	4	4	3
X_{D2}	0,10	0,90	5	5	
X_{D3}	0,20	0,58	3	3	

Уровень 3. Использование принципа суперпозиции для гармонизации решения, полученного на основе базовых показателей с учетом квалиметрических значений цифровых показателей.

3.1. Используем принцип суперпозиции, построенный согласно предпочтению рангов каждой из компонент Y_1 и Y_2 : с учетом равенства рангов результирующих терм Y_1 и Y_2 итоговый статус принятия решений остается неизменным: 3.

3.2. Формулируем вывод о значении лингвистической переменной с указанием степени принадлежности каждого показателя к статусу опасности (таблица 5.15) и идентифицируем список мероприятий для проведения на элементах ОПО (п. 3.4, таблица 3.7).

Таблица 5.15 – Степень принадлежности показателей качества к статусу опасности

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Описание статуса
X_{B1}	0,12	0,66	4	4	Работоспособное
X_{B2}	0,40	0,75	3	3	Ограниченно работоспособное
X_{B3}	0,68	0,60	3	3	Ограниченно работоспособное
X_{D1}	0,50	0,00	4	4	Работоспособное
X_{D2}	0,1	0,9	5	5	Исправное
X_{D3}	0,20	0,58	3	3	Ограниченно работоспособное

3.3. Устанавливаем итоговый вывод о соответствии (не в полной мере соответствии, несоответствие) элемента ОПО требованиям качества в соответствии с нормативными правовыми актами и стандартами Российской Федерации, исходя из соотнесения принятого решения (*Status_i*) возможности эксплуатации.

Соотношение статуса с решением о возможности эксплуатации элемента ОПО (объекта экспертной оценки) исходя из требований нормативных правовых актов и стандартов Российской Федерации представлено в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Соотношение статуса с решением о возможности эксплуатации элемента ОПО

Описание статуса	Ранг	Решение
Исправное состояние	5	Соответствует
Работоспособное состояние	4	
Ограниченно работоспособное состояние	3	Не в полной мере соответствует
Недопустимое состояние	2	Не соответствует
Аварийное состояние	1	

На основании проведенной оценки качества функционирования здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8, находящегося на промышленной площадке ПАО «ММК», сделан вывод о не в полной мере соответствии требованиям нормативным правовым актам и стандартам РФ. Функционирование здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8 возможно при условии выполнения мероприятий, компенсирующих несоответствия.

3.4. Назначаем управляющее воздействие, направленное на изменение показателей качества технического состояния элемента ОПО.

С учетом не в полной мере соответствия здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8, находящегося на промышленной площадке ПАО «ММК», предъявляемым требованиям, требуется управляющее воздействие, направленное на изменение показателей качества его технического состояния.

Управляющее воздействие заключается в проведении мероприятий, компенсирующих несоответствия: восстановление или усиление конструкций здания.

До выполнения мероприятий накладываются соответствующие ограничения на эксплуатацию здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8.

5.1.3 Оценка и управление качеством функционирования сооружения кирпичной дымовой трубы №132, эксплуатируемой на территории паровоздуховной электростанции ПАО «ММК»

Объект экспертной оценки – сооружение кирпичной дымовой трубы №132, эксплуатируемой на территории паровоздуховной электростанции ПАО «ММК» (III класс опасности).

Требуется дать оценку качества функционирования сооружения: кирпичная дымовая труба №132, эксплуатируемая на территории паровоздуховной электростанции ПАО «ММК», требованиям нормативных правовых актов и стандартов Российской Федерации на основе экспертной оценки.

Сооружение кирпичной дымовой трубы предназначено для создания тяги и отведения дымовых газов, образующихся при работе котлов № 3, 4 паровоздуховной электростанции.

Общий вид сооружения кирпичной дымовой трубы представлен на рисунке 5.7.



Рисунок 5.7 – Общий вид сооружения кирпичной дымовой трубы
Технические характеристики объекта приведены в таблице 5.17.

Таблица 5.17 – Технические характеристики объекта экспертной оценки

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1. Общие сведения		
1	Организация-проектировщик, год разработки проектной документации	ВНИПИ «Теплопроект», 1949 г.
2	Строительно-монтажная организация	Трест «Магнитострой»
3	Год ввода в эксплуатацию	1950 г.
4	Нормативный срок эксплуатации сооружения, установленный проектной документацией	Не установлен
5	Высота ствола	69,170 м
6	Сооружение дымовой трубы	Отдельностоящее, конусного очертания с диаметром выходного отверстия 4 м
7	Ствол дымовой трубы	Конической формы, из кирпича марки М75 на растворе М50 до отм. +7,000 м, из кирпича марки М75 на растворе М25 с отм. +7,000 м до отм. +69,170 м
8	Футеровка	Из глиняного кирпича М75 на цементном растворе марки М50, толщиной 120 мм
9	Система молниезащиты	Три молниеприемника, токоотводящий канат, соединенный с контуром заземления из труб, объединенных полосовой сталью
10	Фундаменты	Железобетонный, стаканного типа
11	Отмостка	По периметру сооружения, асфальтовая, шириной 1300 мм по щебеночному основанию толщиной 100 мм

Уровень 1. Определение лингвистической переменной и ее терм, разделение показателей качества на две группы: базовые и цифровые.

1.1. Согласно техническому заданию на проведение экспертизы элемента ОПО определяем основные нормативные документы, содержащие требования и показатели для оценки:

– Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ;

– Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ;

– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Обеспечение промышленной безопасности при организации работ на опасных производственных объектах горно-металлургической промышленности» (Приказ Ростехнадзора от 24.12.2020 г. № 440);

– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» (Приказ Ростехнадзора от 20.10.2020 г. № 420);

– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах» (Приказ Ростехнадзора от 01.12.2020 г. № 478);

– СП 13-101-99 «Правила надзора, обследования, проведения технического обслуживания и ремонта промышленных дымовых и вентиляционных труб»;

– СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений»;

– СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции»;

– СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции»;

– СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»;

– СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии»;

– СП 43.13330.2012 «Сооружения промышленных предприятий»;

– СП 56.13330.2011 «Производственные здания»;

– СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»;

– СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции»;

– «Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам», 2001.

1.2. Согласно идентифицированным документам определяем:

– лингвистическая переменная U_0 – техническое состояние сооружения кирпичной дымовой трубы №132, эксплуатируемой на территории паровоздуховной электростанции ПАО «ММК»;

– лингвистическая переменная 1-го уровня – решение, полученное на основе базовых показателей качества X_{Vi} .

В результате проведения экспертизы экспертом выбраны основные показатели качества (в соответствии с обнаруженными дефектами и повреждениями).

Определим нечеткое множество в виде

$$X_B = \{X_{B1}, X_{B2}, X_{B3}\},$$

где X_{B1} – величина снижения прочности кирпичной кладки ствола дымовой трубы, доли от проектного значения; X_{B2} – величина раскрытия трещин кирпичной кладки ствола дымовой трубы $\times 10^{-1}$, мм; X_{B3} – величина крена ствола дымовой трубы $\times 10^{-3}$, мм.

Лингвистическая переменная 1-го уровня – решение, полученное на основе цифровых показателей качества X_{Di} .

Экспертом определен состав цифровых показателей качества в виде

$$X_D = \{X_{D1}, X_{D2}, X_{D3}\},$$

где X_{D1} – величина раскрытия трещин в кирпичной кладке ствола дымовой трубы на цифровом изображении $\times 10^{-1}$, мм; X_{D2} – количество рядов кладки, пересекаемых трещиной $\times 10^{-1}$, шт.; X_{D3} – длина горизонтальных трещин в кладке ствола дымовой трубы $\times 10^{-4}$, мм.

1.3. Назначим экспертно ранги предпочтения для каждой термы, используя смысловые значения базовых и цифровых показателей качества (таблица 5.18).

Таблица 5.18 – Ранги предпочтения для каждой термы лингвистической переменной для базовых и цифровых показателей качества

Статус	Ранг
Исправное состояние	5
Работоспособное состояние	4
Ограниченно работоспособное состояние	3
Недопустимое состояние	2
Аварийное состояние	1

1.4. Закрепим за каждой термой перечень мероприятий для проведения на элементах ОПО согласно п. 3.4, таблица 3.7.

Уровень 2. Получение решения для компонент 1-го уровня для базовых и цифровых показателей качества.

2.1. Для каждого показателя качества с использованием экспертных оценок определим ключевые точки изменения состояния объекта согласно положениям СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».

Для лингвистической переменной Y_1 :

$$\mu_{x_{B1}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,95}{0,05}; \frac{0,50}{0,15}; \frac{0,09}{0,25}; \frac{0,00}{0,30} \right\}$$

$$\mu_{x_{B2}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,95}{0,10}; \frac{0,90}{0,30}; \frac{0,60}{0,50}; \frac{0,00}{1,00} \right\}$$

$$\mu_{x_{B3}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,75}{0,20}; \frac{0,50}{0,30}; \frac{0,15}{0,40}; \frac{0,00}{0,50} \right\}$$

Для лингвистической переменной Y_2 :

$$\mu_{x_{D1}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,95}{0,10}; \frac{0,90}{0,30}; \frac{0,60}{0,50}; \frac{0,00}{1,00} \right\}$$

$$\mu_{x_{D2}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,80}{0,20}; \frac{0,60}{0,40}; \frac{0,40}{0,60}; \frac{0,00}{1,00} \right\}$$

$$\mu_{x_{D3}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,80}{0,10}; \frac{0,60}{0,20}; \frac{0,10}{0,40}; \frac{0,00}{0,50} \right\}$$

2.2. Выполним аппроксимацию функций принадлежности объекта к заданному техническому состоянию для базовых (рисунок 5.8) и цифровых (рисунок 5.9) показателей качества, отобразив на них экспертные точки, соответствующие фактическим значениям базовых и цифровых показателей качества.

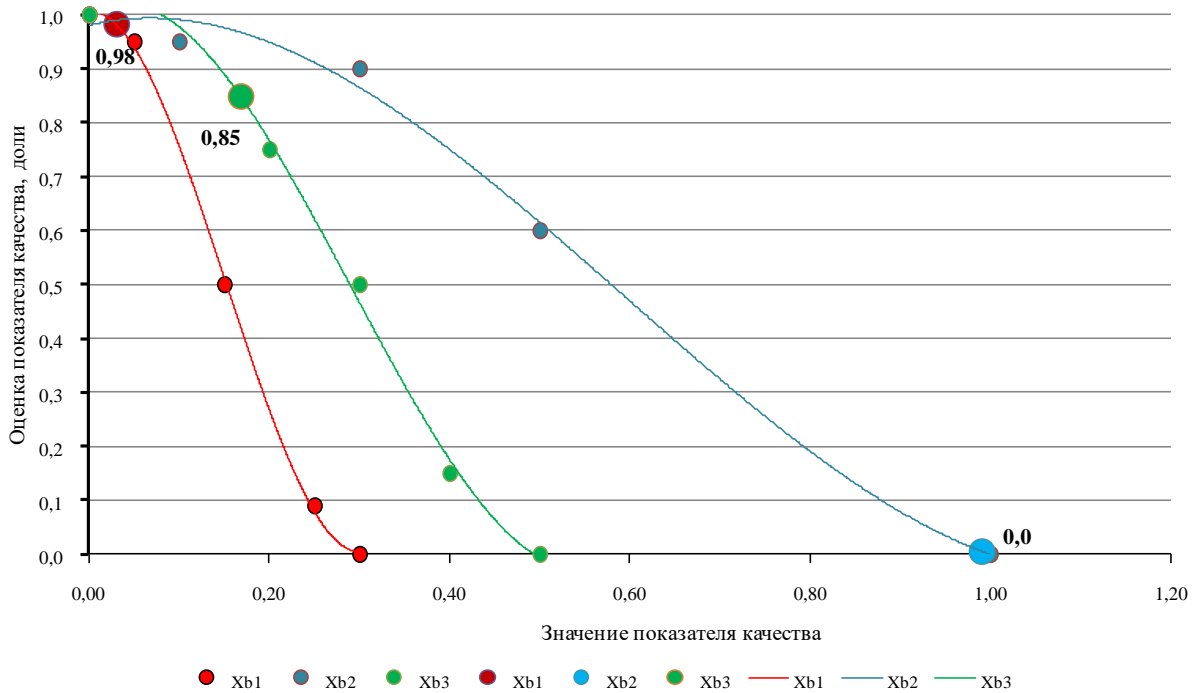


Рисунок 5.8 – Аппроксимация функций принадлежности по базовым показателям качества X_{B1}, X_{B2}, X_{B3}

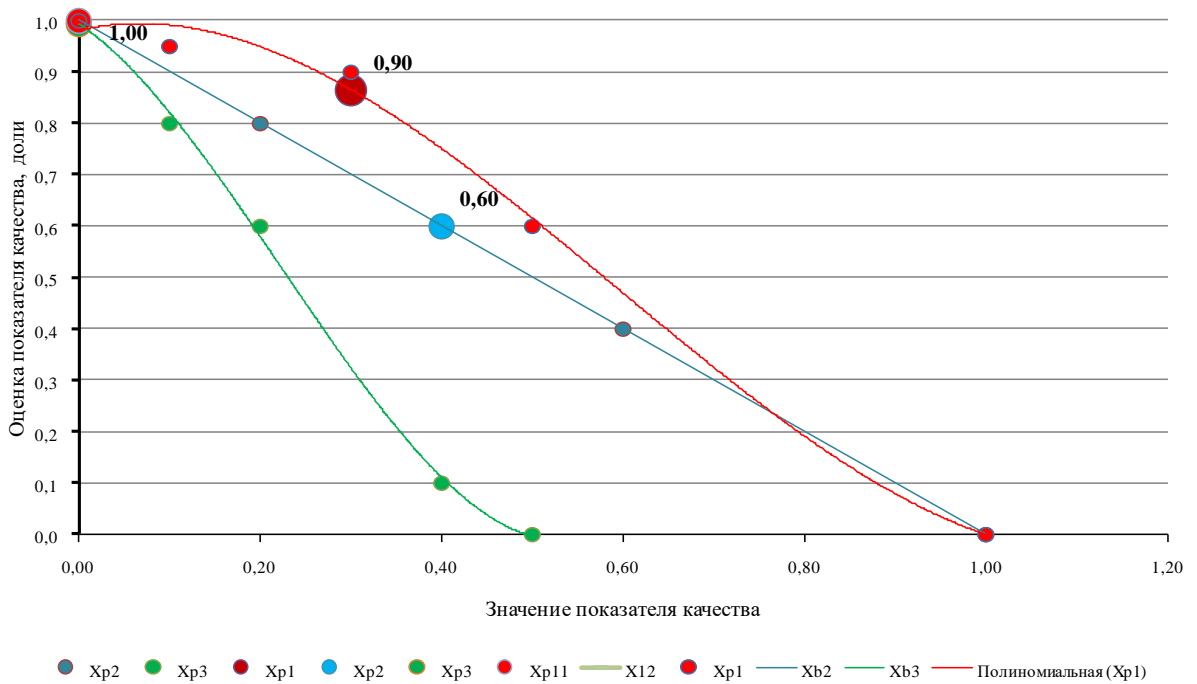


Рисунок 5.9 – Аппроксимация функций принадлежности по цифровым показателям качества X_{D1}, X_{D2}, X_{D3}

При аппроксимации функций принадлежности объекта к заданному техническому состоянию получены следующие зависимости:

$$\mu_{x_{B1}} = 1,764x_{B1}^3 - 3,1458x_{B1}^2 + 0,4004x_{B1} + 0,9804, \quad (5.12)$$

$$\mu_{x_{B2}} = 16,588x_{B2}^3 - 14,454x_{B2}^2 + 1,07x_{B2} + 0,9983, \quad (5.13)$$

$$\mu_{x_{B3}} = 77,333x_{B3}^3 - 35,127x_{B3}^2 + 0,2446x_{B3} + 1,0049, \quad (5.14)$$

$$\mu_{x_{D1}} = 9,3137x_{D1}^3 - 6,2605x_{D1}^2 - 1,194x_{D1} + 0,9937, \quad (5.15)$$

$$\mu_{x_{D2}} = 1,764x_{D2}^3 - 3,1458x_{D2}^2 + 0,4004x_{D2} + 0,9804, \quad (5.16)$$

$$\mu_{x_{D3}} = -x_{D3} + 1, \quad (5.17)$$

где $\mu_{x_{B1}}, \mu_{x_{B2}}, \mu_{x_{B3}}$ – значения оценок для базовых показателей качества элемента ОПО; $\mu_{x_{D1}}, \mu_{x_{D2}}, \mu_{x_{D3}}$ – количественные значения оценок для цифровых показателей качества элемента ОПО; x_{B1}, x_{B2}, x_{B3} , – значения базовых показателей качества; x_{D1}, x_{D2}, x_{D3} – значения цифровых показателей качества.

2.3. Воспользуемся правилами принятия решений для компонент Y_1 (таблица 5.19) и Y_2 (таблица 5.20) согласно выражениям (3.17) – (3.19).

Таблица 5.19 – Определение статуса для компоненты Y_1

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Диапазон оценки	Решение о статусе	Описание статуса
X_{B1}	0,03	0,98	[0,95÷1,00)	5	Исправное
X_{B2}	1,00	0,00	$\leq 0,00$	1	Аварийное
X_{B3}	0,168	0,85	[0,75÷1,00)	5	Исправное

Таблица 5.20 – Определение статуса для компоненты Y_2

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Диапазон оценки	Решение о статусе	Описание статуса
X_{D1}	0,3	0,90	[0,90÷0,95)	4	Работоспособное
X_{D2}	0,4	0,60	[0,60÷0,80)	4	Работоспособное
X_{D3}	0,00	1,00	(0,80÷1,00]	5	Исправное

2.4. Применим правила принятия решений (3.17) – (3.19) для показателей качества элементов ОПО, выбранных в ходе экспертной оценки с указанием степени принадлежности ко всем состояниям.

Полученные параметры по базовым показателям качества сведены в таблицу 5.21, по цифровым – в таблицу 5.22.

Таблица 5.21 – Определенные параметры по базовым показателям качества

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Общее решение
X_{B1}	0,03	0,98	5	5	1
X_{B2}	1,00	0,00	1	1	
X_{B3}	0,168	0,85	5	5	

Таблица 5.22 – Определенные параметры по цифровым показателям качества

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Общее решение
X_{D1}	0,3	0,90	4	4	4
X_{D2}	0,4	0,60	4	4	
X_{D3}	0,00	1,00	5	5	

Уровень 3. Использование принципа суперпозиции для гармонизации решения, полученного на основе базовых показателей с учетом квалиметрических значений цифровых показателей.

3.1. Используем принцип суперпозиции, построенный согласно предпочтению рангов каждой из компонент Y_1 и Y_2 : учитывая разницу рангов в три единицы результирующих терм Y_1 и Y_2 , необходимо выполнить пересмотр экспертных оценок по всем показателям, возвращаясь к п. 2.2.

2.2. Повторно определив количественные значения базовых и цифровых показателей качества традиционным методом и с использованием инструментов ПЦП, отобразим экспертные точки на функциях принадлежности для базовых (рисунок 5.10) и цифровых (рисунок 5.11) показателей качества.

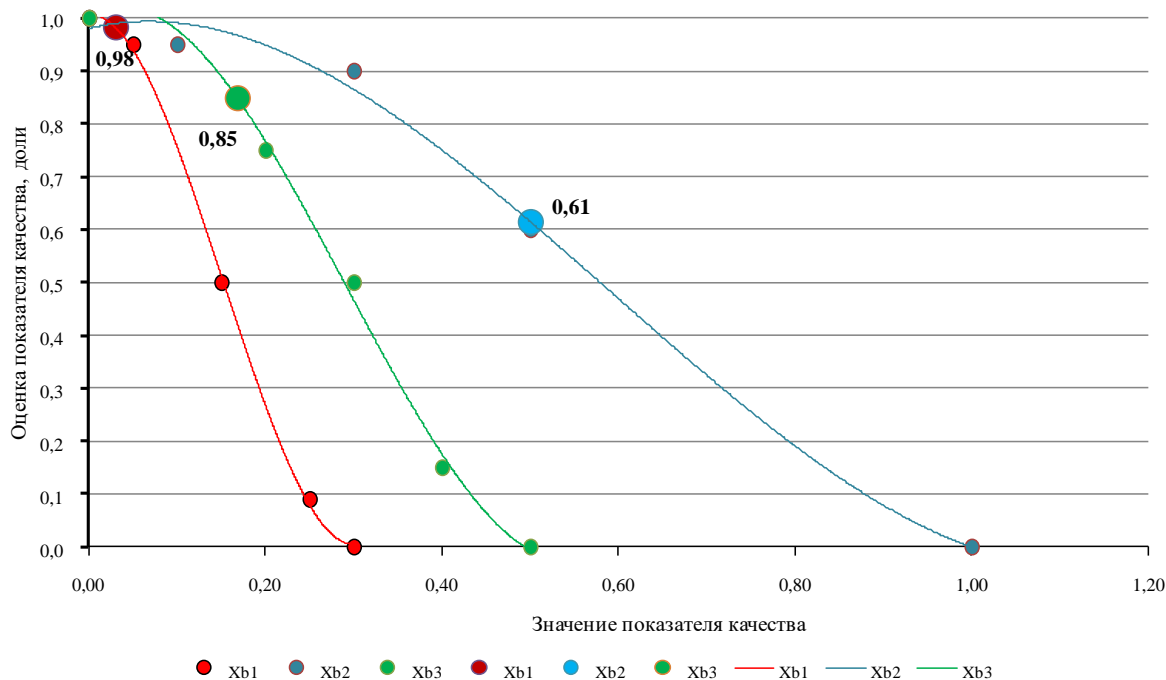


Рисунок 5.10 – Аппроксимация функций принадлежности по базовым показателям качества X_{B1} , X_{B2} , X_{B3}

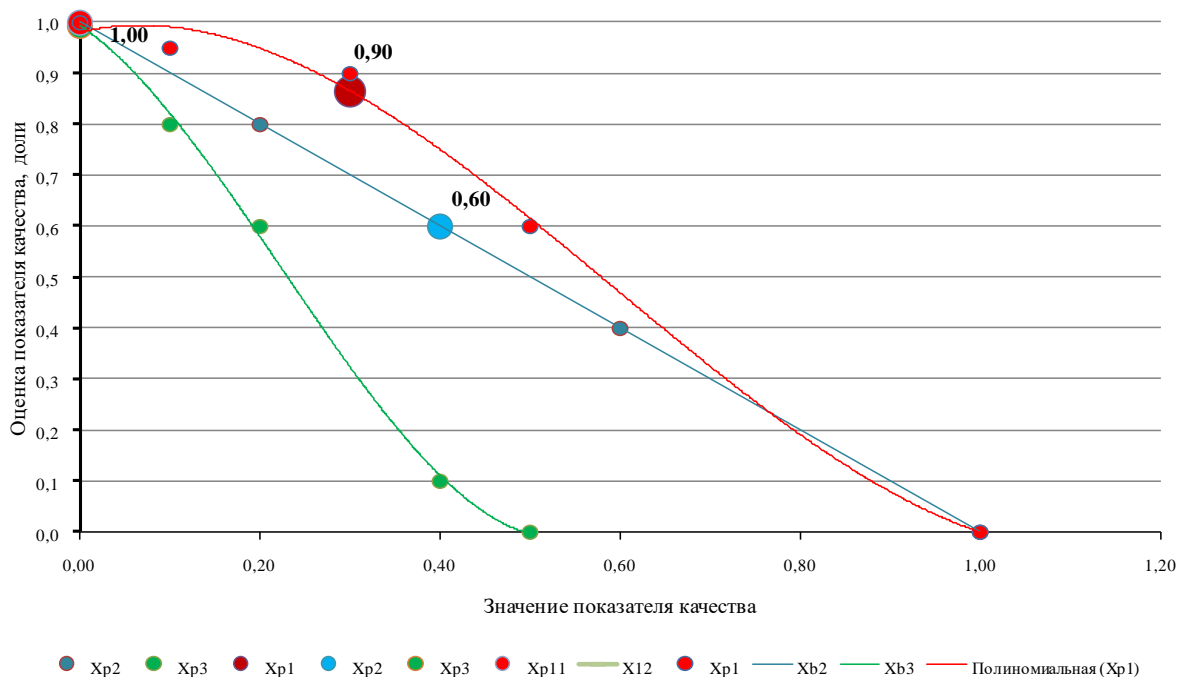


Рисунок 5.11 – Аппроксимация функций принадлежности по цифровым показателям качества X_{D1} , X_{D2} , X_{D3}

2.3. Воспользуемся правилами принятия решений для компонент Y_1 (таблица 5.23) и Y_2 (таблица 5.24) согласно выражениям (3.17) – (3.19).

Таблица 5.23 – Определение статуса для компоненты Y_1

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Диапазон оценки	Решение о статусе	Описание статуса
X_{B1}	0,03	0,98	[0,95÷1,00)	5	Исправное
X_{B2}	0,50	0,61	[0,60÷0,90)	3	Ограниченно работоспособное
X_{B3}	0,168	0,85	[0,75÷1,00)	5	Исправное

Таблица 5.24 – Определение статуса для компоненты Y_2

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Диапазон оценки	Решение о статусе	Описание статуса
X_{D1}	0,3	0,90	[0,90÷0,95)	4	Работоспособное
X_{D2}	0,4	0,60	[0,60÷0,80)	4	Работоспособное
X_{D3}	0,00	1,00	(0,80÷1,00]	5	Исправное

2.4. Применим правила принятия решений (3.17) – (3.19) для показателей качества элементов ОПО, выбранных в ходе экспертной оценки с указанием степени принадлежности ко всем состояниям.

Полученные параметры по базовым показателям качества сведены в таблицу 5.25, по цифровым – в таблицу 5.26.

Таблица 5.25 – Определенные параметры по базовым показателям качества

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Общее решение
X_{B1}	0,03	0,98	5	5	3
X_{B2}	0,50	0,61	3	3	
X_{B3}	0,168	0,85	5	5	

Таблица 5.26 – Определенные параметры по цифровым показателям качества

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Общее решение
X_{D1}	0,3	0,90	4	4	4
X_{D2}	0,4	0,60	4	4	
X_{D3}	0,00	1,00	5	5	

Уровень 3. Использование принципа суперпозиции для гармонизации решения, полученного на основе базовых показателей с учетом квалиметрических значений цифровых показателей.

3.1. Используем принцип суперпозиции, построенный согласно предпочтению рангов каждой из компонент Y_1 и Y_2 : с учетом разницы рангов результирующих терм Y_1 и Y_2 в одну позицию итоговый статус принятия решений принимаем по рангу термы более опасного состояния: 3.

3.2. Формулируем вывод о значении лингвистической переменной с указанием степени принадлежности каждого показателя к статусу опасности (таблица 5.27) и идентифицируем список мероприятий для проведения на элементах ОПО (п. 3.4, таблица 3.7).

Таблица 5.27 – Степень принадлежности показателей качества к статусу опасности

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Описание статуса
X_{B1}	0,03	0,98	5	5	Исправное
X_{B2}	0,50	0,61	3	3	Ограниченно работоспособное
X_{B3}	0,168	0,85	5	5	Исправное
X_{D1}	0,3	0,90	4	4	Работоспособное
X_{D2}	0,4	0,60	4	4	Работоспособное
X_{D3}	0,00	1,00	5	5	Исправное

3.3. Устанавливаем итоговый вывод о соответствии (не в полной мере соответствии, несоответствие) элемента ОПО требованиям нормативных правовых актов и стандартов Российской Федерации, исходя из соотнесения принятого решения ($Status_i$) возможности эксплуатации.

Соотношение статуса с решением о возможности эксплуатации элемента ОПО (объекта экспертной оценки) исходя из требований нормативных правовых актов и стандартов представлено в таблице 5.28.

Таблица 5.28 – Соотношение статуса с решением о возможности эксплуатации элемента ОПО

Описание статуса	Ранг	Решение
Исправное состояние	5	Соответствует
Работоспособное состояние	4	
Ограниченно работоспособное состояние	3	Не в полной мере соответствует
Недопустимое состояние	2	Не соответствует
Аварийное состояние	1	

На основании проведенной экспертной оценки качества установлено, что сооружение кирпичной дымовой трубы №132, эксплуатируемой на территории паровоздуходувной электростанции ПАО «ММК», не в полной мере соответствует требованиям нормативных правовых актов и стандартов Российской Федерации и может быть применено при условии выполнения мероприятий, компенсирующих несоответствия.

3.4. Назначаем управляющее воздействие, направленное на изменение показателей качества технического состояния элемента ОПО.

С учетом не в полной мере соответствия сооружения кирпичной дымовой трубы №132, эксплуатируемой на территории паровоздуходувной электростанции ПАО «ММК», предъявляемым требованиям, требуется управляющее воздействие, направленное на изменение показателей качества его технического состояния.

Управляющее воздействие заключается в проведении мероприятий, компенсирующих несоответствия:

- восстановление или усиление конструкции ствола дымовой трубы;
- до выполнения компенсирующих мероприятий осуществлять контроль (мониторинг) технического состояния сооружения кирпичной дымовой трубы.

5.2 Результаты построения цифровой тени пилотных элементов опасных производственных объектов

Для реализации перехода «элемент ОПО → цифровая тень» (рисунок 4.6) потребовалось использование современных технологий из группы систем автоматизации проектирования по классификации программного обеспечения по назначению. В качестве основного инструмента исполнения цифровой тени элементов ОПО использован современный программный продукт Autodesk@Revit. Для цифровой тени объекта характерно предсказание его поведения только в тех условиях, в которых осуществлялся сбор данных. Для текущего этапа работы это является достаточным при осуществлении экспертной оценки и сохранения текущего состояния в базе данных и извлечения выводов для принятия решений.

Autodesk@Revit – программное обеспечение, позволяющее на основе технологий информационного моделирования в строительстве (BIM), создавать 3D-аналоги объектов при их проектировании, создании цифровой тени и цифровых двойников объектов. Для создания трехмерной модели строительного объекта и его элементов Revit@AutoDesk использует плоские чертежи или ранее созданные пользовательские объекты при совместной работе над проектом, начиная от идеи и заканчивая выпуском рабочих чертежей и спецификаций.

Выбор программного обеспечения Revit@AutoDesk обусловлен наличием:

- инструментов параметрического моделирования, позволяющих задавать связи между объектами и элементами с помощью изменяющихся во времени параметров;

- инструментов для моделирования инженерных систем, функционирующих на объекте;

- возможностью детализации отдельных объектов: лестниц, стен, колонн, углов, санитарно-технических систем, элементов армирования железобетонных конструкций;

- двунаправленной ассоциативности, обеспечивающей централизованное хранение информации о проекте для внесения изменений в проект на любом этапе работы;

- программной библиотеки материалов при моделировании объекта и возможности их комбинирования: кирпич, железобетон, сталь, дерево, полимерный композит и т.п.

Благодаря единой платформе Autodesk, работа над объектом осуществляется с использованием чертежей ОПО, реализованных в Autodesk AutoCAD, на которых подробно описан каждый этаж здания и спроектирован плоский вид здания со стороны с указанием всех числовых характеристик (ширина, высота стены, размер дверных и оконных проемов, высота крыши и т.д.). По этому чертежу синтезируется 3D-модель в Revit@AutoDesk с сохранением всех размеров.

В рамках диссертационного исследования использованы инструменты:

- 1) «стена» для создания стен и перегородок здания, для которой заданы свойства: высота, ширина, толщина, текстура;
- 2) «дверь» для добавления в модель здания дверных проемов на ранее построенную стену;
- 3) «окно» для добавления оконных проемов на построенной стене;
- 4) «потолок» для постройки перекрытий внутри здания;
- 5) «крыша» для постройки верхнего перекрытия задания;
- 6) 3D-вид для демонстрации трехмерного вида модели построенного объекта;
- 7) камера для создания 3D-вида с точки обзора камеры, размещенной пользователем.

В рамках выполнения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы «Разработка и применение методик контроля территорий, зданий и сооружений ПАО «ММК» с использованием беспилотных воздушных судов (БВС)» по договору № 247715 от 05.07.2021 г. между ПАО «ММК» и ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» [284, 285] по результатам пилотажного эксперимента-обследования реализована цифровая тень здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8, находящегося на промышленной площадке ПАО «ММК» и входящего в состав ОПО «Цех по производству проката № 8», зарегистрированного в государственном реестре ОПО (II класс опасности).

Для выбранного объекта в качестве исходных данных использованы: цифровые фотографии здания; чертежи с разметкой. Чертеж здания импортирован в Revit и явился основой для построения 3D-модели. Фотографии и полученные видеопотоки позволили построить внешнюю текстуру для здания главного корпуса. Пример исходных данных приведен на рисунках 5.12 и 5.13.

Цифровая тень здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8 ПАО «ММК» представлена на рисунке 5.14.

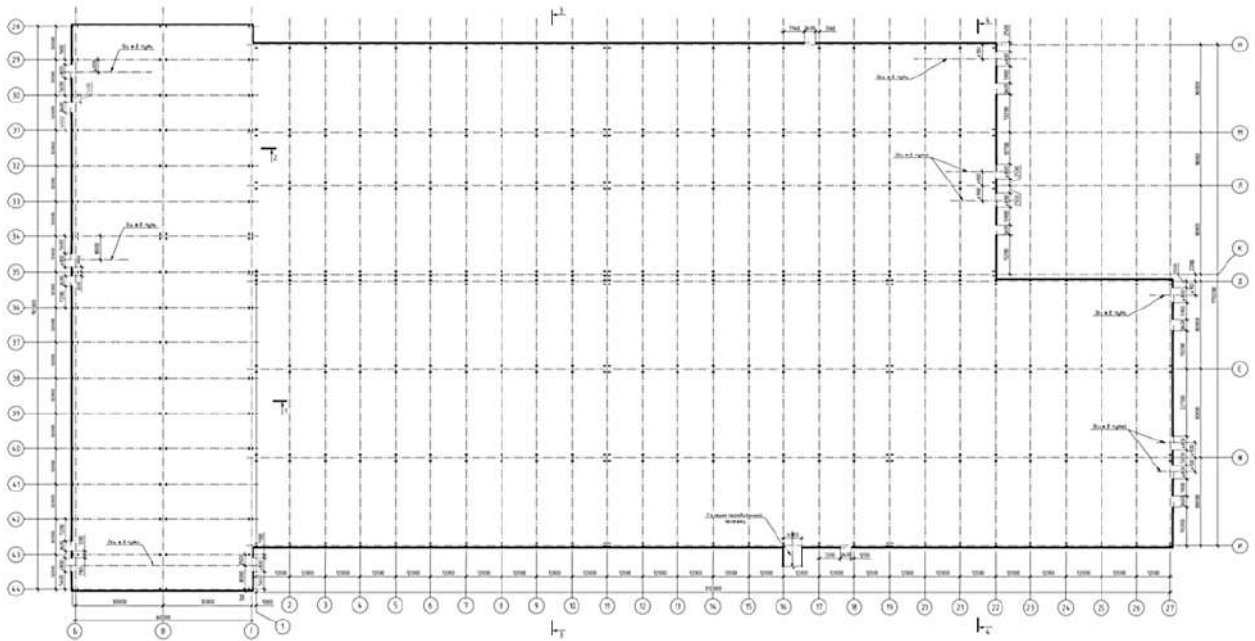


Рисунок 5.12 – План здания главного корпуса участка гнутых профилей
ЛПЦ № 8 ПАО «ММК»

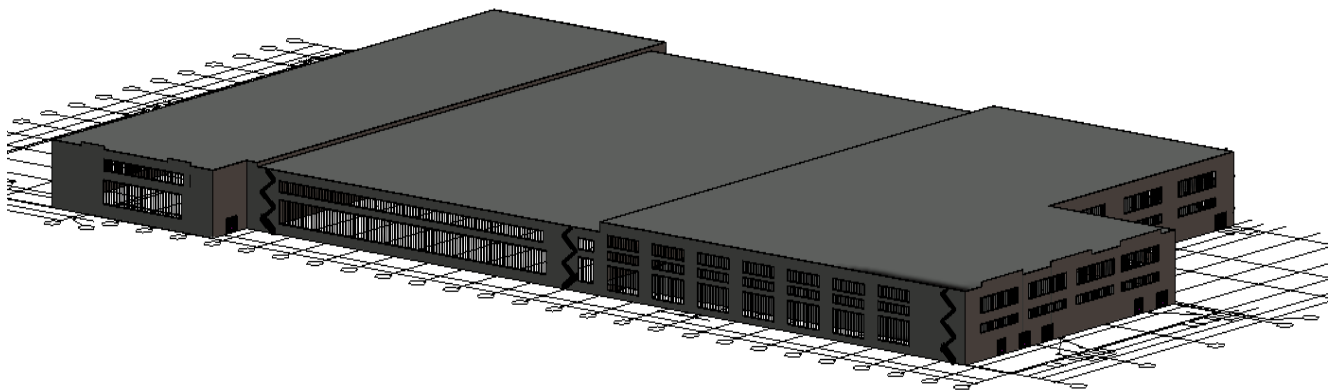


Рисунок 5.13 – 3D-модель здания главного корпуса участка гнутых профилей
ЛПЦ № 8 ПАО «ММК»



Рисунок 5.14 – Цифровая тень фрагмента здания главного корпуса участка гнутых
профилей ЛПЦ № 8 ПАО «ММК»

Процесс создания цифровой тени относится к технологическому слою подготовки информации для последующей экспертной оценки и требует дополнительных рабочих мест и высокой трудозатратности на начальных этапах работы. Однако именно такое представление информации о состоянии здания или сооружения позволяет судить не только о развитии разрушения, но и о его месте расположения в конструкции здания.

5.3 Оценка экономической эффективности применения комплексного инструментария для мониторинга, оценки и управления качеством функционирования элементов опасных производственных объектов на металлургическом предприятии

Для оценки экономической эффективности трансформации ПЭОК функционирования элементов ОПО на МП использован метод оценки эффективности инвестиционных проектов в прогнозных ценах [151, 202].

В качестве основных показателей, используемых для расчетов эффективности инвестиционных проекта, приняты следующие показатели:

- чистый дисконтированный доход (*Net Present Value, NPV*);
- срок окупаемости проекта (*payback period, PP*);
- рентабельность проекта (*Accounting Rate of Return, ARR*);
- внутренняя норма рентабельности проекта (*Internal Rate of Return, IRR*);
- запас финансовой прочности проекта (*ЗФП*).

Смета инвестиций (в текущих ценах) на обеспечение трансформации ПЭОК функционирования элементов ОПО на МП (разовые вложения) представлена в таблице 5.29.

Смета текущих ежегодных затрат (в текущих ценах) на эксплуатацию новой ПЭОК функционирования элементов ОПО на МП представлена в таблице 5.30.

Смета ежегодных доходов, тыс. руб. (в текущих ценах), от эксплуатации новой ПЭОК функционирования элементов ОПО на МП представлена в таблице 5.31.

В таблице 5.31 учтены значения экономии денежных средств при своевременном выявлении дефектов и повреждений в ходе проведения производственного контроля и восстановлении элементов ОПО (зданий, сооружений, технических устройств).

Таблица 5.29 – Смета инвестиций на обеспечение трансформации ПЭОК функционирования элементов ОПО на МП (разовые вложения)

№ п/п	Наименование затрат	Кол-во	Затраты на единицу, тыс. руб.	Итоговые затраты, тыс. руб.
1	Затраты на НИОКР	1	29 400,00	29 400,00
2	Приобретение БПЛА <i>DJI Matrice M210-RTK V2</i>	3	2 200,00	6 600,00
3	Приобретение мобильной станции для высокоточного позиционирования <i>DJI D-RTK 2 High Precision GNSS</i>	3	550,00	1650,00
4	Приобретение лицензированного ПО для обеспечения высокоточного позиционирования БПЛА при фронтальном и горизонтальном обследовании элементов ОПО	1	300,00	300,00
5	Приобретение лицензированного ПО для оценки качества элементов ОПО в рамках проведения производственного контроля	1	2400,00	2400,00
6	Модернизация парка компьютерной техники	5	300,00	1500,00
7	Обучение, аттестация и сертификация персонала, осуществляющего контроль	5	200,00	1000,00
8	Прочие	-	500,00	500,00
Итого:				43350,00

Таблица 5.30 – Текущие ежегодные затраты на эксплуатацию новой ПЭОК функционирования элементов ОПО на МП

№ п/п	Наименование затрат	Затраты, тыс. руб.
1	Фонд оплаты труда персонала	6300,00
2	Обслуживание БПЛА (ремонт, запчасти)	1650,00
3	Сопровождение ПО	540,00
4	Обслуживание парка компьютерной техники	300,00
5	Ресертификация персонала, осуществляющего контроль (1 раз в 3 года)	333,00
6	Прочие	500,00
Итого		9623,00

Таблица 5.31 – Смета ежегодных доходов от эксплуатации ПЭОК функционирования элементов ОПО на МП, тыс. руб.

№ п/п	Наименование дохода	До трансформации ПЭОК	После трансформации ПЭОК	Отклонение (экономия)
1	Фонд оплаты труда персонала	6300,00	6300,00	0,00
2	Усредненная ежегодная приблизительная стоимость восстановления элементов ОПО (стоимость регулярных крупных ремонтов), в том числе:	4200000,00	4170600,00	29400,00
2.1	зданий	882018,99	875844,86	6174,13
2.2	сооружений	436682,49	433625,72	3056,78
2.3	технических устройств	2881298,52	2861129,43	20169,09
3	Усредненная ежегодная приблизительная величина штрафов за нарушение требований промышленной безопасности	1000,00	900,00	100,00
4	Усредненная ежегодная величина штрафов за нарушение требований природоохранного законодательства	100000,00	100000,00	0,00
Итого		4307300,00	4277800,00	29500,00

При своевременном восстановлении элементов ОПО происходит потенциальная экономия денежных средств от аварий на ОПО.

В соответствии с [201] ущерб от аварий на ОПО определяется по формуле

$$P_a = P_{п.п} + P_{л.а} + P_{сэ} + P_{н.в.} + P_{экол} + P_{в.т.р}, \quad (5.18)$$

где P_a – полный ущерб от аварий, руб.; $P_{п.п}$ – прямые потери организации, эксплуатирующей ОПО, руб.; $P_{л.а}$ – затраты на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии, руб.; $P_{сэ}$ – социально-экономические потери (затраты, понесенные вследствие гибели и травматизма людей), руб.; $P_{н.в.}$ – косвенный ущерб, руб.; $P_{экол}$ – экологический ущерб (урон, нанесенный объектам окружающей природной среды), руб.; $P_{в.т.р}$ – потери от выбытия трудовых ресурсов в результате гибели людей или потери ими трудоспособности.

Для расчета показателей инвестиционного проекта составлена таблица 5.32.

В таблице 5.32 коэффициент дисконтирования r принят равным 0,2, что соответствует значению величины ключевой ставки в размере 17 % годовых, установленной Банком России 11 апреля 2022 г. плюс 3 процентных пункта.

Таблица 5.32 – Расчет чистого дисконтированного дохода (*NVP* инвестиционного проекта) от эксплуатации новой ПЭОК функционирования элементов ОПО на МП, тыс. руб.

Годы	Коэффициент дисконтирования r	Дисконтный множитель α_m	Потенциальная экономия	Потенциальная экономия с учетом фактора времени	<i>NVP</i>
1	0,2	1,2	19877,00	16564,17	-26 785,83
2	0,2	1,44	19877,00	13803,47	-12 982,36
3	0,2	1,728	19877,00	11502,89	-1 479,47
4	0,2	2,0736	19877,00	9585,74	8 106,28
5	0,2	2,48832	19877,00	7988,12	16 094,40

Следует отметить, что высокая величина ключевой ставки в размере 17 % годовых определяется сложной экономической ситуацией в Российской Федерации в настоящее время. При снижении величины ключевой ставки до 5 % годовых и ниже экономические показатели инвестиционного проекта значительно улучшатся.

Основные показатели эффективности инвестиционного проекта определены по формулам (5.19) – (5.22).

Дисконтный множитель α_m определен по формуле

$$\alpha_m = \frac{1}{(1+r)^t}, \quad (5.19)$$

где α_m – дисконтный множитель, доли от единицы в год; r – коэффициент дисконтирования, доли от единицы в год; t – время, лет.

Значение чистого дисконтированного дохода *NVP* инвестиционного проекта определено по формуле

$$NVP = \sum_{t=0}^N \frac{1}{(1+r)^t} = -IC + \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (5.20)$$

где *NVP* – значение чистого дисконтированного дохода (*NVP*) инвестиционного проекта, тыс. руб.; r – коэффициент дисконтирования, доли от единицы в год; t – время, лет; N – количество лет в рассматриваемом периоде; IC – величина начальных инвестиций в проект, тыс. руб.; CF_t – доходы в период времени t с учетом дисконтирования.

Срок окупаемости проекта (*payback period, PP*) – продолжительность периода от начальной реализации инвестиционного проекта до момента его окупаемости, при котором значение *NVP* меняет знак с «–» на «+».

Значение коэффициента рентабельности (*Accounting Rate of Return, ARR*) инвестиционного проекта определено по формуле

$$ARR = \frac{NVP}{IC} \cdot 100\%. \quad (5.21)$$

Внутренняя норма рентабельности проекта (*Internal Rate of Return, IRR*) – значение ставки дисконтирования в процентах, при которой чистый дисконтированный доход от реализации инвестиционного проекта обращается в нуль, при больших значениях – отрицателен, при меньших значениях – положителен.

Значение *IRR* определено с помощью опции «Подбор параметров» Microsoft Excel.

Запас финансовой прочности проекта (ЗФП) – разница между значением *IRR* и текущим значением коэффициента дисконтирования *r*

$$\text{ЗФП} = (IRR - r) \cdot 100\%. \quad (5.22)$$

Основные показатели эффективности инвестиционного проекта по трансформации ПЭОК функционирования элементов ОПО на МП (в ценах 2022 г.) приведены в таблице 5.33.

Таблица 5.33 – Основные показатели эффективности инвестиционного проекта

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Значение показателя
1	Чистый дисконтированный доход (<i>NPV</i>), тыс. руб.	8106,3
2	Срок окупаемости проекта (<i>PP</i>), лет	3,2
3	Рентабельность проекта (<i>ARR</i>), %	18,7
4	Внутренняя норма рентабельности проекта (<i>IRR</i>), %	129,6
5	Запас финансовой прочности проекта (ЗФП), %	9,6

Приведенные в таблице 5.33 основные показатели эффективности инвестиционного проекта по трансформации ПЭОК функционирования элементов ОПО на МП свидетельствуют о целесообразности его реализации.

5.4 Перспективные направления развития диссертационного исследования

Результаты, представленные в тексте диссертации, позволили определить перспективные направления для новых разработок. Новые перспективные разработки охватывают направления научных специальностей по новой номенклатуре научных специальностей [205]:

- 2.1.15 Безопасность объектов строительства;
- 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации;
- 2.3.7 Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования;
- 2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Схема распределения исследования по научным специальностям в зависимости от результата приведена на рисунке 5.15.



Рисунок 5.15 – Схема распределения исследования по научным специальностям в зависимости от результата

Внесение изменений в Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности [368], в части оценки фактического состояния технических устройств, зданий и сооружений: «При оценке фактического состояния техниче-

ских устройств, зданий и сооружений на ОПО допускается применение информации автоматизированных систем мониторинга их технического состояния», приведет к лавинообразной разработке систем непрерывного мониторинга за состоянием элементов ОПО. Такие системы, в свою очередь, включают в себя вопросы по:

1) исследованию качества получаемой информации (наличие и исправление перспективы и дисторсии фото- и видеопотоков), разработке алгоритмов принятия решений на основе получаемой экспертной информации, визуализации результатов, обработки полученной информации;

2) синтезу цифровых двойников, которые функционируют на основе результатов математического моделирования элементов ОПО и позволяют не только описывать текущее состояние качества элементов ОПО, а также и новое прогностическое состояние;

3) развитие инструментов ПЦП при расширении ее функций, связанных с качеством подготовки информации на технологическом слое, в автоматическом или автоматизированном режиме.

Учитывая высокие требования к безопасности объектов капитального строительства, появляются вызовы, связанные с адаптацией полученных результатов для элементов ОПО МП на объекты гражданского строительства. В ходе диссертационного исследования автором проведены пробные испытания по сбору и анализу информации, полученной с помощью БПЛА для объектов:

- крупнопанельного многоэтажного жилого здания в городской среде, имеющего эксплуатационные дефекты и повреждения (рисунок 5.16, а);
- объекта незавершенного строительства (железобетонный каркас многоэтажного здания) (рисунок 5.16, б);
- дорожного полотна проезжей части (рисунок 5.16, в).

Предварительный анализ полученной информации показал возможность использования типовых алгоритмов по ее обработке с учетом специфики дефектов на поверхности объекта.

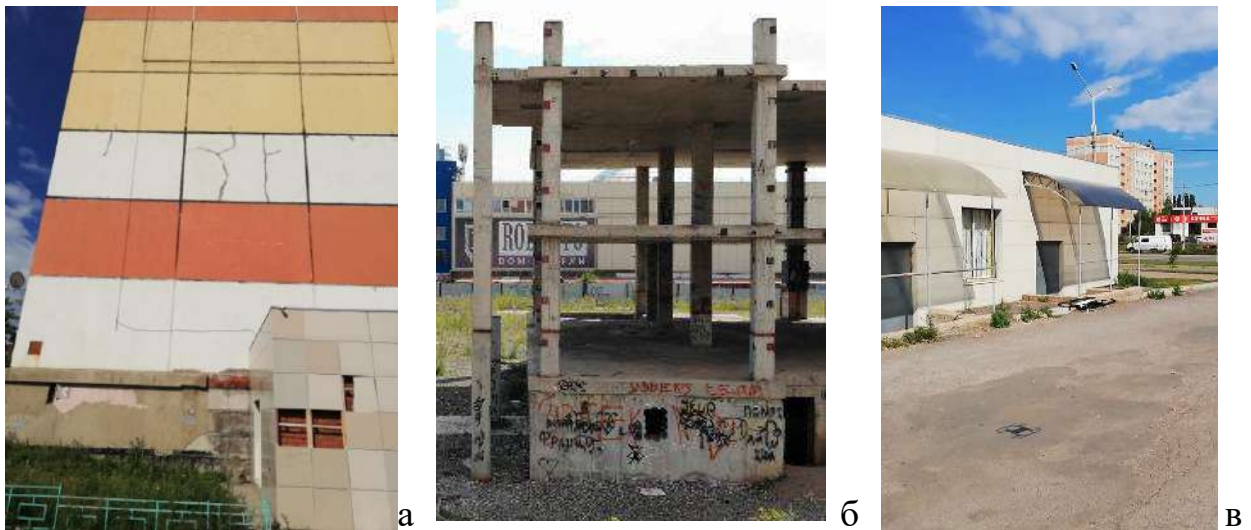


Рисунок 5.16 – Вид объектов обследования: а – крупнопанельное жилое здание с трещинами на наружной поверхности торцевых панелей; б – объект незавершенного строительства (железобетонный каркас многоэтажного здания); в – дорожное полотно проезжей части

Развитие цифровых технологий в области трансформации системы управления качеством и повышение результативности экспертной оценки приведет к разработке новых показателей качества, их внедрения в действующие системы оценки и алгоритмов принятия решения о соответствии элементов ОПО требованиям промышленной безопасности.

Таким образом, учитывая, что активное внедрение процессов цифровизации в настоящее время вызвано повышением требований к качеству экспертной оценки элементов ОПО, основными направлениями перспективного развития исследования являются:

- адаптация теории и практики трансформации системы управления качеством элементов ОПО к оценке состояния объектов гражданского строительства;
- разработка эффективных алгоритмов обработки информации по фото- и видеопотокам, полученным техническими средствами для непрерывного мониторинга поверхности объектов;
- построения моделей цифровых двойников для построения и исследования нового состояния элементов ОПО.

5.5 Выводы по главе 5

1. В результате реализации предложенных в диссертации методологии и инструментария создания и функционирования СМК на МП, эксплуатирующих ОПО, апробированы результаты, связанные с повышением уровня качества управления функционированием элементов ОПО за счет интеграции цифровых и экспертных методов мониторинга, контроля и управления в рамках СМК.

2. Выполнена практическая реализация инструментария, разработанного в рамках диссертационного исследования, на примере элементов ОПО ПАО «ММК»: техническое устройство ковш сталеразливочный, эксплуатируемый на территории кислородно-конвертерного цеха; здание главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8; сооружение кирпичной дымовой трубы №132, эксплуатируемое на территории паровоздуховной электростанции. Получены количественно-качественные результаты экспертно-аналитической текущей оценки качества функционирования элементов ОПО. Результаты опробования показывают высокий уровень достоверности и адекватности предлагаемых управленческих решений в области управления качеством функционирования элементов ОПО в рамках предложенной в диссертации методологии создания СМК.

3. Построение цифровой тени элемента ОПО с использованием современных технологий Revit@AutoDesk совместно с другими продуктами из группы автоматизации проектирования позволяют накапливать ретроспективную информационную базу для проведения экспертной оценки качества функционирования элементов ОПО. Наличие 3D-модели позволило характеризовать пространственное расположение дефектов и повреждений на поверхности объекта. Подготовка цифровой тени требует дополнительных временных затрат, но приобретаются дополнительные свойства информационной модели элемента ОПО.

4. Учитывая, что при использовании цифровой тени элемента ОПО определяется его характеристика только в условиях получения информации о его фактическом техническом состоянии, перспективным развитием исследований является построение цифрового двойника объекта. Синтез цифровых двойников позволит

выполнить накопление ретроспективной информации об изменении технического состояния элементов ОПО.

5. Определены основные показатели инвестиционного проекта по трансформации ПЭОК функционирования элементов ОПО на МП. Чистый дисконтированный доход на окончание четвертого года реализации проекта – 8106,3 тыс. руб., срок окупаемости проекта – 3,2 года, рентабельность проекта – 18,7 %, внутренняя норма рентабельности проекта – 129,6 %, запас финансовой прочности проекта – 9,6 %. Экономический эффект при внедрении полученных результатов диссертационного исследования на предприятиях реального сектора экономики составил до 16,0 млн руб. включительно в ценах 2022 г., что подтверждено актами внедрения, приведенными в Приложении И.

6. Последовательное развитие результатов диссертационного исследования позволило определить перспективные направления. Среди этих направлений выделены: адаптация теории и практики трансформации системы управления качеством функционирования элементов ОПО к оценке состояния объектов гражданского строительства; разработка эффективных алгоритмов обработки информации по фото- и видеопотокам, полученным средствами для непрерывного мониторинга поверхности объектов; построение моделей цифровых двойников для исследования нового состояния элементов ОПО. Развитие этих направлений открывает новые возможности по созданию синергетических рабочих групп и привлечения молодых кадров к научной деятельности нового поколения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решена важная отраслевая проблема развития СМК МП, эксплуатирующего ОПО, и достигнута цель диссертационного исследования: совершенствование СМК МП, эксплуатирующего ОПО, для обеспечения результативности функционирования процессов управления.

1. Проведен системный анализ проблемы управления качеством функционирования элементов ОПО, учитывающий отраслевые особенности, на предприятиях УФО, в котором сконцентрировано более 7,7 тыс. промышленных объектов. Установлено, что, несмотря на наличие устойчивой нормативной и методической базы обеспечения процессов управления, наблюдается значительное отставание сложившихся традиционных инструментов управления качеством функционирования элементов ОПО от существующих в настоящее время процессных инструментов управления основными видами деятельности, реализуемых в СМК предприятий. Установлено значительное отставание применяемых инструментов управления качеством элементов ОПО от достигнутого уровня цифровых технологий и аналитических возможностей, применяемых в основных бизнес-процессах СМК ведущих предприятий. Исследованы существующие процессы и процедуры мониторинга, оценки и управления качеством элементов ОПО. Выявлена необходимость развития методов получения информации о техническом состоянии элементов ОПО с использованием средств цифровизации.

2. На основе современных трендов цифровизации разработана контекстная модель СМК МП, эксплуатирующего ОПО, с учетом отраслевых особенностей. Контекстная модель выявляет ключевые системные аспекты и факторы. Модель содержит 12 блоков факторов и 107 единичных элементов. Реализация контекстной модели позволила определить направление развития СМК МП, эксплуатирующего ОПО, для обеспечения результативности функционирования процессов управления.

3. Разработана и реализована методология и комплекс инструментов разработки СМК МП, эксплуатирующего ОПО. Выделены два основных раздела в структуре методологии, связанных с развитием теоретических положений и инст-

рументальных основ, для обеспечения результативности функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО, на базе ПЦП.

4. Методология создания и функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО, включает комплекс моделей:

– структурная модель методологии и инструментарий создания и функционирования СМК;

– модель СМК МП, эксплуатирующего ОПО, позволяющая рассматривать ОПО как ключевые элементы инфраструктуры, оказывающие влияние на качество продукции;

– информационная модель принятия решений при экспертизе элементов ОПО, которая использует консолидированную аналитическую, экспертную информацию и информацию из видеопотока, полученного с помощью технических средств;

– модель СМК МП, эксплуатирующего ОПО, которая обеспечивает системный уровень корпоративного управления и позволяет встраивать процессы управления ОПО в структуру существующей системы менеджмента предприятия. В СМК МП введены 10 ключевых элементов, позволяющих повысить результативность функционирования элементов ОПО;

– адаптивная процессная модель СМК, включающая 12 процессов управления качеством на МП, эксплуатирующем ОПО. Применение адаптивной процессной модели на МП позволяет повысить результативность функционирования элементов ОПО.

5. Разработанный комплексный цифровой инструментарий создания и функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО, включает:

– инструментарий для мониторинга, оценки и управления качеством функционирования элементов ОПО МП, включающий методику проведения экспериментальных исследований и трехуровневый метод интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО. Результаты внедрения комплекса инструментов показали снижение затрат при проведении экспертизы элементов ОПО на 30%;

– инструментарий управления качеством функционирования элементов ОПО, включающий структуру, программные модули, информационную модель, группу алгоритмов анализа технического состояния и оценки качества функционирования элементов ОПО. Создан комплекс алгоритмов для разработки и функционирования программных модулей на базе ПЦП. ПЦП включает аппаратное обеспечение платформы, программное обеспечение, кадровое обеспечение. В ходе проектирования и реализации ПЦП разработана информационная модель для оценки текущего технического состояния и динамики качества элементов ОПО, отличающаяся наличием трех уровней ПЦП: *R* – уровень исследователя (*Researcher*); *T* – уровень функционального технолога (*Technologist*); *E* – уровень эксперта (*Expert*). Перспективным направлением в развитии ПЦП является создание цифровых двойников для прогнозирования динамики качества элементов ОПО на МП.

6. Разработан механизм трансформации инструментов ПЭОК качества функционирования элементов ОПО, решающий комплексную задачу по созданию и обеспечению результативности функционирования СМК МП, эксплуатирующего ОПО. Показано, что предложенный механизм трансформации комплексного инструментария для мониторинга, оценки и повышения качества функционирования элементов ОПО МП устраняет пять критически значимых несоответствий, определяющих системный, целевой, инструментальный уровни в функционировании СМК и обеспечивает согласование между процессами СМК МП, эксплуатирующего ОПО. Комплексный инструментарий для мониторинга, оценки и повышения качества функционирования элементов ОПО МП позволяет использовать инструменты ПЦП, сохранять и накапливать опыт в виде значимой для отрасли информационной базы знаний, снижать влияние человеческого фактора.

7. Результативность трансформации ПЭОК функционирования элементов ОПО обоснована расчетом значений основных показателей экономической эффективности. Экономический эффект при внедрении полученных результатов диссертационного исследования на предприятиях реального сектора экономики составил до 16,0 млн руб. включительно в ценах 2022 г., что подтверждено актами

внедрения. Практическая значимость подтверждена актами использования результатов диссертационного исследования на промышленных предприятиях и организациях. Полученные результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» при подготовке обучающихся по направлениям 08.03.01, 08.04.01, 08.05.01, 09.03.01, 09.04.01 и 09.06.01 (уровень бакалавриата, специалитета и магистратуры, подготовки кадров высшей квалификации).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. An empirical approach to quality assurance of materials, products and structures in industrial safety / M. Yu. Narkevich, O. S. Logunova, V. D. Kornienko [et al.] // *Transportation Research Procedia : X International Scientific Siberian Transport Forum – TransSiberia 2022.* – Siberia: Elsevier, 2022. – P. 119-128.
2. Automatic system for intelligent support of continuous cast billet production control processes / O. S. Logunova, I. I. Matsko, I. A. Posohov [et al.] // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* – 2014. – Vol. 74. – No. 9-12. – P. 1407-1418. – EDN SUBGLD.
3. Box, G. E. P. Some New Three Level Designs for the Study of Quantative. Variables / G. E. P Box, D. W. Behnken // *Technometrics.* – 1960. – Vol. 2. – № 4. – P. 455 – 475.
4. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED : [сайт]. – URL: <https://www.cred.be> (дата обращения: 07.02.2022).
5. Damage of Bridge Lifting Cranes and Crane Metal Structures / S. A. Nishcheta, E. P. Chernyshova, M. Yu. Narkevich [et al.] // *Journal of Engineering and Applied Sciences.* – 2017. – Vol. 12. – No. S3. – P. 6587-6590.
6. Design as professional design and art activity type / E. P. Chernyshova, A. D. Grigorev, Yu. S. Antonenko [et al.] // *The Turkish Online Journal of Design Art and Communication.* – 2017. – Vol. 7. – No. S-APRLSPCL. – P. 482-487.
7. EM-DAT : [сайт]. – URL: www.emdat.be (дата обращения: 07.02.2022).
8. Experimental investigation of selection of warm mode for highperformance self-stressing self-compacting concrete / A. L. Krishan, M. Yu. Narkevich, A. I. Sagadatov [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* – Novosibirsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 012049.
9. Feigenbaum, A. V. Quality and Productivity / A. V. Feigenbaum // *Quality Progress.* – 1977. – P. 18-21.
10. Forrester, J.W. *Industrial Dynamics.* / J.W. Forrester – Cambridge: MIT Press, 1961. – 95 p.

11. Gotzamani, K.D. An empirical study of the ISO 9000 standards contribution towards total quality management / K.D. Gotzamani, G.D. Tsiotras // *International Journal of Operations & Production Management*. – 2001. – № 10. – P. 132-134.
12. Hart, E. R. Designing process-based organizations / E. R. Hart // *Plan*. – 1993. – Rev.21. № 5. – P. 39-40.
13. Ishikawa, K. What Is Total Quality Control? / K. Ishikawa. – *The Japanese Way*, Prentice Hall, 1985. – 235 p.
14. Juran, J.M. A History of Managing for Quality. The Evolution, Trends, and Future Directions of Managing for Quality / J.M. Juran. – ASQC Quality Press, 1995. – 597 p.
15. Juran, J.M. Architect of Quality. The autobiography of Dr. Joseph M. Juran. / J. M. Juran. – McGraw-Hill, 2004. – 379 p.
16. Kaplan, R. The Balanced Scorecard: Enhancing the Mc Kinsey 7-S Model / R. Kaplan, *Balanced Scorecard Report*, March, 2005.
17. Krishan, A. L. Compressed tube-concrete elements with the high-strength compression core and with fibreglass shell / A. L. Krishan, M. Yu. Narkevich, A. I. Sagadatov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety*. – Chelyabinsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 033016.
18. Narkevich, M. Yu. Strength and deformation property enhancement of compressed steel tube-concrete elements using super concrete and thin-shell structure / M. Yu. Narkevich, A. I. Sagadatov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety*. – Chelyabinsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 033031.
19. Practical implementation of the calculation of the bearing capacity trumpet-concrete column / A. L. Krishan, V. I. Rimshin, M. Yu. Narkevich [et al.] // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2017. – № 2(368). – P. 227-232.
20. Results of a pilot experiment on monitoring the condition of buildings and structures using unmanned aerial vehicles / M. Yu. Narkevich, O. S. Logunova, P. I.

Kalandarov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2nd International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2021. – Tashkent: IOP Science, 2021. – P. 012030.

21. Results of experimental tests of building samples / M. Yu. Narkevich, O. S. Logunova, P. I. Kalandarov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2nd International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2021). – Tashkent: IOP Science, 2021. – P. 012031.

22. The integrated use of management system standards. – British: ISO, 2008. – 145 p.

23. The Six Sigma Memory Jogger II. Карманный справочник по инструментам и методам для команд совершенствования Шести Сигм [Текст] : справочник / М. Брассард, Л. Финн, Д. Джинн [и др.] ; [пер. с англ.; под ред. Ю. П. Адлера]. – Киев: Украинская ассоциация качества, 2003. – 264 с.: ил. – ISBN 966-96409-1-1.

24. The strength of short compressed concrete elements in a fiberglass shell / A. L. Krishan, M. Yu. Narkevich, A. I. Sagadatov [et al.] // Magazine of Civil Engineering. – 2020. – № 2(94). – P. 3-10.

25. UCLouvain : [сайт]. – URL: <https://uclouvain.be/fr/index.html> (дата обращения: 07.02.2022).

26. Van der Wiele, A. ISO 9000 series and excellence models: fad to fashion to fit /A. Van der Wiele, B. Dale, R. Williams // Journal of General Management. – 2000. – № 3. – P. 50-66.

27. Абызгильдина, С. Ш. База знаний экспертной системы в области промышленной безопасности: специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Абызгильдина Сакина Шагадатовна. – Уфа, 2006. – 193 с. – EDN NNZXFZ.

28. Абызгильдина, С. Ш. База экспертной системы в области промышленной безопасности: специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук / С. Ш. Абызгильдина. – Уфа, 2006. – 24 с. – EDN UVIGBN.

29. Абызов, В. Г. Управление оборудованием для мониторинга и измерений в системе менеджмента качества организации / В. Г. Абызов, И. С. Новиков // Мир измерений. – 2014. – № 8. – С. 31-34.

30. Автоматизированная система контроля и управления МНЛЗ [Текст] : монография / Д. Х. Девятов, С. И. Лукьянов, О. С. Логунова [и др.]. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2009. – 644 с. – ISBN 978-5-9967-0072-1.

31. Автоматизированная система управления предприятием в системе менеджмента качества. Управление производством / В. В. Балашова, Д. П. Ветров, И. А. Картушин, Г. Н. Карпенко // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2005. – Т. 1. – С. 525-529.

32. Адлер, Ю. П. Практическое руководство по статистическому управлению процессами [Текст] / Ю. П. Адлер, В. Л. Шпер. – М.: Альпина Паблишер, 2019. – 234 с. – ISBN 978-5-96142-160-6.

33. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В.Маркова, Ю. В.Грановский – М.: Наука, 1976. – 278 с.

34. Азаров В.Н. Управление качеством [Текст]: в 2 т. Т. 1. Основы обеспечения качества / В. Н. Азаров. – М.: МГИЭМ, 1999. – 326 с.

35. Азаров, В.Н. Управление качеством [Текст]: в 2 т. Т. 2 Принципы и методы всеобщего руководства качеством / В. Н. Азаров. – М.: МГИЭМ, 2000. – 356 с.

36. Азгальдов, Г. Г. Квалиметрия – наука об измерении качества продукции [Текст] / Г. Г. Азгальдов, А. В. Гличев, Э. П. Райхман // Стандарты и качество. – 1968. – № 1. – С. 34-40.

37. Азгальдов, Г.Г. Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании [Текст] / Г.Г. Азгальдов. – М.: Стройиздат, 1989. – 264 с. – ISBN 5-274-00589-6.

38. Азгальдов, Г.Г. О квалиметрии [Текст] / Г.Г. Азгальдов, Э. П. Райхман; под ред. А.В. Гличева. – М.: Издательство стандартов, 1973. – 172 с.
39. Азгальдов, Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров [Текст]: основы квалиметрии / Г. Г. Азгальдов. – М.: Экономика, 1982. – 256 с.
40. Азгальдов, Г.Г. Экспертные методы в оценке качества товаров [Текст] / Э. П. Райхман, Г. Г. Азгальдов. – М.: Экономика, 1974. – 149 с.
41. Айдаров, Д.В. Развитие теории и практики управления конкурентоспособностью в автомобилестроении на основе методологии потребительской ценности качества : специальность 05.02.23 «Стандартизация и управление качеством продукции» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Д.В. Айдаров. – Самара, 2020. – 32 с.
42. Акулова, С. В. Управление опасными производственными объектами: аудит или контроллинг / С. В. Акулова // Инновации и инвестиции. – 2015. – № 6. – С. 91-94.
43. Алгоритмы обработки изображений серных отпечатков в системе оценки качества непрерывнолитой заготовки [Текст] : монография / И. А. Посохов, О. С. Логунова, М. Б. Аркулис [и др.]. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2017. – 131 с. – ISBN 978-5-9967-0923-6.
44. Альперин, Л. Н. Освоение стандартов ИСО серии 9000 на российских предприятиях: трудности и пути их преодоления // Стандарты и качество. – 1998. – №9. – С. 52-55.
45. Анализ эффективности существующей системы оценки качества материалов, изделий и конструкций на опасных производственных объектах / М. Ю. Наркевич, В. Д. Корниенко, О. С. Логунова [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2021. – Т. 19. – № 2. – С. 103-111.
46. Антипов, Д. В. Интеграция управленческих подходов для обеспечения развития организации / Д. В. Антипов, В. В. Щипанов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2011. – № 2(16). – С. 134-139.

47. Антипов, Д. В. Проблемы управления устойчивым развитием организации / Д. В. Антипов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2011. – № 4(18). – С. 172-179.

48. Антипов, Д. В. Разработка модели оценочных показателей устойчивого развития организации / Д. В. Антипов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2010. – № 4(14). – С. 186-189.

49. Анцев, В. Ю. Стандартизация взаимодействий подразделений ремонтной службы машиностроительного предприятия / В. Ю. Анцев, А. В. Федоров, А. В. Федоров // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2008. – № 5. – С. 42-48.

50. Анцев, В. Ю. Управление качеством процесса разработки проектной документации на транспортно-технологические комплексы / В. Ю. Анцев, М. Х. Казанлеев, К. Н. Ханин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2011. – № 4. – С. 228-238.

51. Арбузов, В. И. Основы системы менеджмента качества машиностроительного предприятия [Текст] / В. И. Арбузов, Ж. А. Мрочек, А. Н. Панов; под общ. ред. Мрочека Ж. А. – Минск: Технопринт, 2000. – 280 с.: ил., табл.; 20 см.; ISBN 985-6582-76-8.

52. Арская, Л. П. Японские секреты управления [Текст] / Л. П. Арская. – М.: Экономика, 1991. – 118 с.

53. Архитектура гражданских и промышленных зданий [Текст]: учеб. для вузов по спец. «Пром. и гражд. стр-во». / Т. 5: Промышленные здания / Л. Ф. Шубин. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Стройиздат, 1986. – 335 с.

54. Асламова, Е. А. Информационная система оценки уровня промышленной безопасности на основе технологий экспертных систем / Е. А. Асламова, М. В. Кривов, В. С. Асламова // Решетневские чтения. – 2018. – Т. 2. – С. 221-223. – EDN YTFPBVJ.

55. Аудит промышленного предприятия как инструмент оценки качества / М. Ю. Наркевич, О. С. Логунова, Д. А. Луганская [и др.] // Современные достижения университетских научных школ: сб. докладов национ. науч. школы-конф. – Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2021. – С. 105-110.

56. Баженов Ю.М., Вознесенский В.А. Перспективы применения математических методов в технологии сборного железобетона. – М.: Стройиздат, 1974. – 192 с.

57. Байбурин, А. Х. Качество и безопасность строительных технологий / А. Х. Байбурин, С. Г. Головнев; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Южно-Уральский гос. ун-т. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 453 с. – ISBN 5-696-03308-3.

58. Байбурин, А. Х. Комплексная оценка качества возведения гражданских зданий с учетом факторов, влияющих на их безопасность: специальность 05.23.08 «Технология и организация строительства»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Байбурин Альберт Халитович. – СПб., 2012. – 394 с.

59. Байбурин, А. Х. Обеспечение качества и безопасности возводимых гражданских зданий / А. Х. Байбурин. – М.: Издательство АСВ, 2015. – 336 с. – ISBN 978-5-4323-0055-3.

60. Бардышев, О. А. О системном подходе к организации экспертной работы в области промышленной безопасности / О. А. Бардышев // Вестник МАНЭБ. – 2020. – Т. 25. – № 2. – С. 21-30. – EDN AJUVZK.

61. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Наука и технологии комплексной безопасности: постановка проблем: Сводный том по выпуску 60-томной серии «Безопасность России» / Н. В. Абросимов, А. И. Агеев, В. А. Акимов [и др.]. – М.: Международный гуманитарный общественный фонд «Знание» им. академика К.В. Фролова, 2021. – 576 с. – EDN NMGWHU.

62. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Безопасность средств хранения и транспорта энергоресурсов : Тематический блок «Национальная безопасность» / О. Е. Аксютин, А. А. Александров, А. В. Алешин [и др.] ; Издается при поддержке: Совета Безопасности Российской Федерации, Российского научного фонда, Российской академии наук, Российского фонда фундаментальных исследований, Министерства Россий-

ской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, Торгово-промышленной палаты Российской Федерации, Публичного акционерного общества «Транснефть». – М.: Международный гуманитарный общественный фонд «Знание» им. академика К. В. Фролова, 2019. – 928 с. – EDN PUELSC.

63. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменениями № 1, 2) : утвержден Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 19 декабря 2018 г. № 832/пр и введен в действие с 20 июня 2019 г. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403082> (дата обращения: 22.11.2022).

64. Бехтин, В. А. Анализ особенностей применения экспертных методов для прогнозирования производственно-хозяйственной деятельности предприятий авиастроения / В. А. Бехтин // Управление экономикой: методы, модели, технологии: Четырнадцатая международная научная конференция: сборник научных трудов, Уфа – Красноусольск, 09–11 октября 2014 года. – Уфа - Красноусольск: ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», 2014. – С. 103-105. – EDN TCNKXR.

65. Богомолова, Е. В. Выявление концептуальных направлений стратегической эволюции систем управления качеством / Е. В. Богомолова // Актуальные вопросы современной науки. – 2010. – № 13. – С. 129-139.

66. Бойцов, Б. В. Качество управления в экосфере: методология и методика анализа / Б. В. Бойцов, И. А. Сосунова // Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации. – 2016. – № 1(35). – С. 69-74.

67. Бойцов, В. В. Стандарт. Эффективность. Качество [Текст] / В. В. Бойцов. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 232 с.

68. Бонюшко, Н. А. Стратегическое управление качеством в системе функциональных стратегий организации / Н. А. Бонюшко, К. М. Туманов // Научно-

технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2008. – № 6(68). – С. 115-120.

69. Бузунов, Е. Г. Методика прогнозирования качества покрытия оцинкованной проволоки / Е. Г. Бузунов, И. Ю. Мезин, С. В. Зотов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallургия. – 2011. – № 14(231). – С. 71-77.

70. Ведомственные строительные нормы (ВСН 53-86(р)). Правила оценки физического износа жилых зданий. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/-document/9051553> (дата обращения: 07.02.2022).

71. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель . – М.: Наука, 1969. – 224 с.

72. Веретехин, А. В. Оценка эколого-экономической безопасности промышленного предприятия с использованием инструментария нечеткой логики / А. В. Веретехин, В. М. Ячmeneва // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2017. – EDN YTWGZN.

73. Гаврилов, В.Б. Исследование прочностных и деформационных параметров качества демпфирующего слоя для применения в области дорожного и подземного строительства / В. Б. Гаврилов, М. Ю. Наркевич, К. В. Гаврилов // Строительные и дорожные машины. – 2022. – № 1. – С. 21-26.

74. Ганшкевич, А. Ю. Диагностика грузоподъемных машин и экспертиза промышленной безопасности [Текст] : учебное пособие / А. Ю. Ганшкевич. – М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2015. – 67 с. – EDN ZUXXVR.

75. Генезис научных исследований в области качества металлопродукции / Г. С. Гун, И. Ю. Мезин, Г. Ш. Рубин [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1(45). – С. 92-96.

76. Гитман, М. Б. Математическая модель управления качеством продукции / М. Б. Гитман, В. Ю. Столбов, С. А. Федосеев // Качество в обработке материалов. – 2014. – № 1(1). – С. 21-26.

77. Гитман, М. Б. Организационный подход к управлению качеством продукции / М. Б. Гитман, В. Ю. Столбов, С. А. Федосеев // Стандарты и качество. – 2012. – № 5. – С. 80-84.

78. Гличев, А. В. Основы управления качеством продукции [Текст] / А. В. Гличев. – М.: АМИ, 1998. – 354 с.: ил.; 20 см.; ISBN 5-89813-015-2.

79. Гличев, А. В. Что такое качество? [Текст] / А. В. Гличев, В. П. Панов, Г. Г. Азгальдов. – М.: Экономика, 1968. – 135 с.

80. Годлевский, В. Е. Применение метода анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий (FMEA) на различных этапах жизненного цикла автомобильной продукции [Текст] / В. Е. Годлевский, А. Я. Дмитриев, Г. Л. Юнак ; под ред. В.Я. Кокотова. – Самара: ГП «Перспектива», 2002. – 160 с.

81. Годовой отчет. О деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 году [Текст] / Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности». – М.: НТЦ ЯРБ, 2021. – 369 с.

82. Годовые отчеты о результатах деятельности: ПАО «ММК»: [сайт]. – URL: <https://mmk.ru/ru/investor/results-and-reports/annual-reports/> (дата обращения: 07.02.2022).

83. Годовые отчеты. О деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору : [сайт]. – URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения: 07.02.2022).

84. Голубчик, Э.М. Адаптивное управление качеством металлопродукции / Э. М. Голубчик // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1(45). – С. 63-68.

85. Голубчик, Э.М. Исследование способов повышения результативности функционирования многостадийных технологических систем / Э. М. Голубчик // Сталь. – 2012. – № 7. – С. 51-54.

86. Голубчик, Э.М. Управление качеством гнутых профилей для мостостроения / Э. М. Голубчик, Г.В. Щуров, А. В. Архандеев // Сталь. – 2009. – № 10. – С. 46.

87. Горленко, О. А. Процессный подход к менеджменту качества [Текст] / О. А. Горленко. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2008. – 168 с.: ил., табл.; 20 см.; ISBN 5-89838-323-9.

88. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам [Текст]. – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 36 с.

89. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения [Текст]. – Введ. 1979-07-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 22 с.

90. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности [Текст]. – Введ. 2020-01-01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 16 с.

91. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия [Текст]. – Введ. 2011-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 17 с.

92. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. [Текст]. – Введ. 2021-03-21. – М.: Стандартинформ, 2021. – 19 с.

93. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Текст]. – Введ. 2011-12-08. – М.: Стандартинформ, 2014. – 55 с.

94. ГОСТ 33707-2016. (ISO/IEC 2382:2015). Информационные технологии. Словарь [Текст]. – Введ. 2016-09-22. – М.: Стандартинформ, 2016. – 200 с.

95. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия [Текст]. – Введ. 1995-01-01. – Минск. : МНТКС, 2003. – 17 с.

96. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия [Текст]. – Введ. 2015-04-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 12 с.

97. ГОСТ Р 15.000-2016. Система разработки и постановки продукции на производство (СПП). Основные положения [Текст]. – Введ. 2016–10–31. – М.: Стандартинформ, 2019. – 19 с.

98. ГОСТ Р 27.102-2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения [Текст]. – Введ. 2022–01–01. – М.: ФГБУ «РСТ», 2021. – 36 с.

99. ГОСТ Р 40.002-2000. Система сертификации ГОСТ Р. Регистр систем качества. Основные положения [Текст]. – Введ. 2000–04–13. – М.: Стандартинформ, 2020. – 24 с.

100. ГОСТ Р 43.4.11-2019. Информационное обеспечение техники и операторской деятельности. Система «человек – информация». Взаимодействие выборочно-стимулируемое человека с информацией [Текст]. – Введ. 2019–12–06. – М.: Стандартинформ, 2019. – 12 с.

101. ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. Общие требования к организации и методам контроля качества [Текст]. – Введ. 1998–12–17. – М.: Госстандарт России, 2005. – 21 с.

102. ГОСТ Р 52104-2003. Ресурсосбережение. Термины и определения [Текст]. – Введ. 2003–07–03. – М.: Госстандарт России, 2003. – 30 с.

103. ГОСТ Р 53791-2010. Ресурсосбережение. Стадии жизненного цикла изделий производственно-технического назначения. Общие положения [Текст]. – Введ. 2010–05–31. – М.: Стандартинформ, 2011. – 12 с.

104. ГОСТ Р 56178-2014. Модификаторы органо-минеральные типа МБ для бетонов, строительных растворов и сухих смесей. Технические условия [Текст]. – Введ. 2015–04–01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 28 с.

105. ГОСТ Р 56564-2015. Система подтверждения качества российской продукции. Рекомендации по формированию нормативной базы для оценки качества продукции [Текст]. – Введ. 2015–09–07. – М.: Стандартинформ, 2015. – 11 с.

106. ГОСТ Р ИСО 24510-2009. Деятельность, связанная с услугами питьевого водоснабжения и удаления сточных вод. Руководящие указания по оценке и

улучшению услуги, оказываемой потребителям [Текст]. – Введ. 2009–12–15. – М.: Стандартиформ, 2011. – 49 с.

107. ГОСТ Р ИСО 24511-2009. Деятельность, связанная с услугами питьевого водоснабжения и удаления сточных вод. Руководящие указания для менеджмента коммунальных предприятий и оценки услуг удаления сточных вод [Текст]. – Введ. 2009–12–15. – М.: Стандартиформ, 2011. – 49 с.

108. ГОСТ Р ИСО 24512-2009. Деятельность, связанная с услугами питьевого водоснабжения и удаления сточных вод. Руководящие указания для менеджмента систем питьевого водоснабжения и оценки услуг питьевого водоснабжения [Текст]. – Введ. 2009–12–15. – М.: Стандартиформ, 2011. – 48 с.

109. ГОСТ Р ИСО 8000-2-2019. Качество данных. Часть 2. Словарь [Текст]. – Введ. 2019–10–20. – М.: Стандартиформ, 2020. – 16 с.

110. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь [Текст]. – Введ. 2015–09–28. – М.: Стандартиформ, 2019. – 48 с.

111. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования [Текст]. – Введ. 2015–11–01. – М.: Стандартиформ, 2020. – 24 с.

112. ГОСТ Р МЭК 61513-2020. Системы контроля и управления, важные для безопасности атомной станции. Общие требования [Текст]. – Введ. 2020–07–01. – М.: Стандартиформ, 2020. – 86 с.

113. Гражданская защита [Текст]: энциклопедия: в 4 т. / под общ. ред. В. А. Пучкова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015.

114. Гражданский кодекс Российской Федерации. Федеральный закон № 51-ФЗ от 30 ноября 1994. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142/ (дата обращения: 07.02.2022).

115. Гуляев, Б. Б. Иерархия структур и механических свойств стали / Б. Б. Гуляев, Е. И. Пряхин, В. М. Колокольцев // Литейное производство. – 1986. – № 10. – С. 9-11.

116. Гун, Г. С. Логические законы оценки качества продукции [Текст] / Г. С. Гун, Г. Ш. Рубин. Деп. в ВИНТИ. 19.08.81, № 4105-81. – Магнитогорск, 1981. – 23 с.
117. Гун, Г. С. Управление качеством в метизном производстве / Г. С. Гун, М. В. Чукин, Г. Ш. Рубин // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2013. – № 4(34). – С. 106-111.
118. Гун, Г. С. Управление качеством высокоточных профилей [Текст] / Г. С. Гун. – М.: *Металлургия*, 1984. – 152 с.
119. Гун, И. Г. Анализ и совершенствование процесса планетарной обкатки головок шаровых пальцев / И. Г. Гун, И. А. Михайловский // *Совершенствование технологий производства и конструкций автомобильных компонентов: сб. науч. тр.* – М., 2003. – С. 119–123.
120. Гун, И. Г. Способ чистовой обработки неполных сферических поверхностей обкатыванием / И.Г. Гун, И.А. Михайловский // *Технология машиностроения*. – 2001. – №4. – С. 12–15.
121. Данилова, Ю. В. Поиск консенсуса между потребителем и производителем – важный этап при разработке нормативных документов / Ю. В. Данилова, М. А. Полякова, Г. Ш. Рубин // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. – 2015. – № 2(50). – С. 79-84.
122. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных [Текст] / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: *Мир*, 1980. – 610 с.
123. Диагностика неисправностей насосного оборудования в условиях проведения экспертизы промышленной безопасности по общему уровню вибрации / Д. Леус, О. Новожилов, С. Михалин [и др.] // *ТехНадзор*. – 2015. – № 12(109). – С. 545-548. – EDN XHBKPD.
124. Добромыслов, А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений. Справочное пособие [Текст] / А. Н. Добромыслов. – М.: *Издательство АСВ*. – 2006. – 256 с.

125. Добромыслов, А.Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. Справочное пособие [Текст] / А. Н. Добромыслов. – М.: Издательство АСВ. – 2004. – 72 с.

126. Егельская, Е. В. Оценка риска человеческого фактора в системе «персонал – подъемные механизмы - производственная среда» на предприятиях машиностроения / Е. В. Егельская, А. А. Короткий // Вестник Донского государственного технического университета. – 2015. – Т. 15. – № 1(80). – С. 131-137.

127. Елисеев, А. С. К вопросу об устойчивости системы контроля качества на предприятии / А. С. Елисеев, С. А. Федосеев, М. Б. Гитман // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2011. – № 2(34). – С. 34-36.

128. Елфимов А.И. Учебное пособие по курсу «Планирование и организация научно-исследовательских работ» [Текст] / А. И. Елфимов. – Магнитогорск: МГМИ, 1974. – 46 с.

129. Еремин, К. И. Безопасность эксплуатируемых спортивных сооружений: перспективы применения информационных систем в целях снижения аварийности / К. И. Еремин, И. В. Шишкин, М. О. Сорокин // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2012. – № 4. – С. 28-33. – EDN PVVLOR.

130. Жетесова, Г. С. Системные механизмы взаимодействия при реализации стратегии качества ESM в условиях индустриально-инновационного развития Республики Казахстан [Текст]: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 05.02.23 / Г.С. Жетесова. – Москва, 2021. – 44 с.

131. Жолобова, О.А. Предложения по совершенствованию производственного контроля качества наружных стен и покрытий современных зданий / О.А. Жолобова, Н.А. Иванникова // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 6. – С. 24-27.

132. Злобина, Н. В. Управление затратами в системе менеджмента качества предприятия / Н. В. Злобина, Т. Н. Харламова // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 2006. – № 4(46). – С. 253-257.

133. Иванова В.А. Разработка методологических основ оценки и обеспечения качества литейного кокса [Текст]: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 05.02.23 / В.А. Иванова. – Магнитогорск, 2018. – 36 с.

134. Иванова, Н.Н. Предложения по расширению области применения цифровой фотографии при оценке состояния строительных конструкций / Н. Н. Иванова, О. А. Жолобова // Науковедение. – 2012. – № 3.

135. Ивахненко, А. Г. Модель управления качеством продукции и деятельности предприятия в пространстве состояний / А. Г. Ивахненко, О. В. Аникеева, М. Л. Сторублев // Автоматизация в промышленности. – 2019. – № 8. – С. 36-38. – EDN OPGGAG.

136. Ивахненко, А. Г. Основные положения динамики качества продукции / А. Г. Ивахненко, В. Е. Пузанов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 2-5(292). – С. 122-128.

137. Ивахненко, А. Г. Построение детерминированных моделей динамики качества продукции / А. Г. Ивахненко, В. Е. Пузанов // Вестник Донского государственного технического университета. – 2012. – Т. 12. – № 2-1(63). – С. 17-25. – EDN PFEVXL.

138. Ивахненко, А. Г. Управление процессами организации на основе данных о результативности / А. Г. Ивахненко, М. Л. Сторублев // Методы менеджмента качества. – 2009. – № 5. – С. 8-12. – EDN TRUWHT.

139. Извеков, Ю. А. Научные основы выбора и оценки показателей качества объектов металлургического предприятия на основе конструкционного риска [Текст]: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 05.02.23 / Ю. А. Извеков. – Магнитогорск, 2021. – 36 с.

140. Извеков, Ю. А. Квалиметрический метод оценки качества объектов металлургического предприятия / Ю. А. Извеков, М. Ю. Наркевич // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2021. – Т. 23. – № 2(100). – С. 42-45.

141. Интеллектуальная система принятия решений при оценке качества зданий и сооружений на опасных производственных объектах: определение траекто-

рии движения беспилотного летательного аппарата / М. Ю. Наркевич, О. С. Логунова, В. Д. Корниенко [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2022. – Т. 20. – № 1. – С. 50-60.

142. Информационная поддержка систем управления качеством изготовления машин [Текст] / С. А. Васин, В. Ю. Анцев, А. Н. Иноземцев [и др.]. – Тула: ТулГУ, 2002. – 428 с. – ISBN 5-7679-0337-9.

143. Исикава К. Японские методы управления качеством [Текст] / Сокр. пер. с яп. / К. Исикава. – М.: Экономика, 1988. – 215 с.: ил.; 20 см.; ISBN 5-282-00114-4.

144. Использование адаптивной структурно-матричной модели для управления качеством сортового проката с разработкой рациональных предупреждающих действий / А. Б. Моллер, Н. А. Ручинская, А. А. Зайцев [и др.] // Неделя металлов в Москве: сборник трудов Конференций и Семинаров, Москва, 13–17 ноября 2006 года / редкол.: Сивак Б. А. [и др.] – М.: АХК ВНИИМЕТМАШ им. акад. А. И. Целикова, 2007. – С. 357-367.

145. Исследование формирования субмикроструктурной структуры поверхностного слоя стальной проволоки с целью повышения уровня ее механических свойств / Г. С. Гун, М. В. Чукин, Д. Г. Емалеева [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2007. – № 3(19). – С. 84-86.

146. К вопросу о создании лунной базы / В. П. Савиных, В. П. Васильев, Ю. С. Капранов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 2. – С. 3-10.

147. Кассем Якзан. Формирование и развитие систем менеджмента качества на промышленных предприятиях (на примере швейной и текстильной отраслей Сирии): [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 08.00.05 / Кассем Якзан. – Санкт-Петербург, 2004. – 202 с.

148. Катанов, И. Б. Автоматизированная система управления кадровым потенциалом экспертных организаций промышленной безопасности / И. Б. Катанов, Н. А. Катанова // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: материалы X Международной научно-практической конфе-

ренции, Кемерово, 28–30 ноября 2013 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2013. – С. 64-68. – EDN SWSQGT.

149. Качество агломерата из железорудных концентратов с повышенным содержанием оксида титана / В. М. Колокольцев, В. А. Бигеев, С. К. Сибагатуллин [и др.] // Теория и технология металлургического производства. – 2011. – № 11. – С. 4-8.

150. Качество материалов, изделий и конструкций в промышленной безопасности: эмпирическая основа / М. Ю. Наркевич, О. С. Логунова, В. Д. Корниенко [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2021. – Т. 19. – № 3. – С. 90-101.

151. Киреева, Н. В. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям «Финансы и кредит», «Бухгалтерский учет, анализ и аудит», «Налоги и налогообложение» [Текст] / Н. В. Киреева, Н. В. Киреева. – М.: Социальные отношения, 2006. – ISBN 5-94907-017-8. – EDN QROCKF.

152. Киреева, Н. В. Разработка алгоритма принятия решений экспертной системы оценки информационной безопасности / Н. В. Киреева, И. С. Поздняк, Н. В. Филиппов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2020): сборник научных статей IX Международной научно-технической и научно-методической конференции, Санкт-Петербург, 26–27 февраля 2020 года. В 4-х т. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2020. – Т. 2. – С. 389-392. – EDN JWPMBY.

153. Киселевич, В. П. Научно-методические основы обеспечения качества электронных модулей при ограниченных объемах поставок [Текст]: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 05.02.23 / В. П. Киселевич. – Москва, 2016. – 48 с.

154. Климова, В. В. Анализ проблем развития системы управления качеством на предприятии / В. В. Климова, А. С. Климова, Е. В. Генералова // Наука и образование транспорту. – 2014. – № 1. – С. 91-94.

155. Клочков, Ю. С. Методика оценки уровня качества производственного процесса / Ю. С. Клочков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2010. – № 4(32). – С. 62-64.

156. Коваленко, В. В. Модель системы информационной поддержки принятия решений в условиях ограниченности ресурсов на крупном промышленном предприятии / В. В. Коваленко, А. Н. Иванченко // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2018. – № 2(198). – С. 33-39. – EDN URQIH1.

157. Козловский, В. Н. Обеспечение качества и надежности системы электрооборудования автомобилей : специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Козловский Владимир Николаевич. – Тольятти, 2010. – 440 с. – EDN QFDOUV.

158. Козловский, В. Н. Обеспечение качества и надежности электрооборудования автомобилей [Текст] : монография / В. Н. Козловский; В. Н. Козловский; Федеральное агентство по образованию, Тольяттинский гос. ун-т. – Тольятти : ТГУ, 2009. – 273 с. – ISBN 978-5-8259-0520-4. – EDN QNWHUB.

159. Колодина, О. Н. Адаптивная система управления ресурсами предприятия как фактор повышения качества предоставляемых услуг / О. Н. Колодина // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. – 2011. – № 9. – С. 240-247.

160. Колокольцев, В. М. Теоретические и технологические основы разработки литейных износостойких сплавов системы железо-углерод-элемент: специальность 05.16.04 «Литейное производство» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Колокольцев Валерий Михайлович. – Санкт-Петербург, 1998. – 42 с.

161. Комментарий к Федеральному закону от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (постатейный). – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/420376693> (дата обращения: 07.02.2022).

162. Комплексная оценка результативности сквозных технологий производства с использованием логики антонимов на примере шаровых пальцев / И. Г. Гун, И. А. Михайловский, Д. С. Осипов [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2005. – № 1(9). – С. 67-71.

163. Коренюгина, В. В. Влияние недостоверной информации об объектах недвижимости на качество их оценки / В. В. Коренюгина // Избранные доклады 64-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых: сборник докладов, Томск, 24 апреля 2018 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. – С. 883-885.

164. Короткий, А. А. Экспертиза промышленной безопасности и оценка риска для обоснования безопасности грузоподъемных машин, отработавших нормативный срок службы / А. А. Короткий, В. С. Котельников, В. Б. Маслов // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 2. – С. 68-74. – EDN PUWUJX.

165. Корчунов, А. Г. Методология управления показателями качества продукции в технологиях метизного производства на основе моделей с элементами нечеткой логики [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23 / Корчунов Алексей Георгиевич. – Магнитогорск, 2010. – 322 с.

166. Корчунов, А. Г. Управление качеством металлургической продукции на основе моделей с элементами нечеткой логики / А. Г. Корчунов, А. В. Лысенин // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2011) : Международная научно-практическая Мультиконференция «Управление большими системами – 2011»: труды IX Международной конференции, Москва, 14–16 ноября 2011 года / Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2011. – С. 212-218.

167. Корчунов, А. Г. Управление качеством продукции металлургии в условиях нечеткости технологической информации / А. Г. Корчунов // Обработка сплошных и слоистых материалов. – 2011. – № 37. – С. 95-100.

168. Котельников, В. В. Создание системы рейтингования экспертных организаций, осуществляющих деятельность в области экспертизы промышленной

безопасности / В. В. Котельников, А. А. Короткий, Е. В. Егельская // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2019. – № 4. – С. 433-442. – EDN TCGRVB.

169. Котельников, В. С. Развитие Единой системы оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве / В. С. Котельников // ТехНадзор. – 2017. – № 1-2(122-123). – С. 42-43.

170. Котельников, В. С. Управление безопасностью опасного производственного объекта / В. С. Котельников, Г. И. Грозовский, В. В. Вернигор // Безопасность жизнедеятельности. – 2018. – № 11(215). – С. 25-30.

171. Котлер, Ф. Маркетинг 3.0: от продуктов к потребителям и далее – к человеческой душе [Текст] / Филип Котлер, Хермаван Картаджайя, Айвен Сетиаван ; [пер. с англ. А. Ю. Заякина]. – М.: Эксмо, 2011. - 119 с. : ил., табл.; 23 см. – (Гуру менеджмента).; ISBN 978-5-699-46177-6

172. Котлер, Ф. Маркетинг менеджмент: экспресс-курс. [Текст]: 2-е изд. / пер. с англ.; под ред. С. Г. Божук. – СПб.: Питер, 2006. — 464 с: ил. – ISBN 5-94723-952-3.

173. Кудасова, А. С. Применение беспилотных летательных аппаратов в строительстве / А. С. Кудасова, А. Д. Тютина, Э. В. Сокольникова // Инженерный вестник Дона. – 2021. - № 8 (80). – С. 31-38.

174. Лазерное сканирование при проведении обследований зданий и сооружений ТЭС /А. П. Манеев, А. В. Середович, А. В. Комиссаров [и др.] // Электрические станции. – 2013. - № 9(986). – С. 33-37.

175. Лapidус, В.А. Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях [Текст] / В. А. Лapidус. – М.: Тип. «Новости», 2002. – 431 с.: ил., табл.; 24 см.; ISBN 5-99149-104-1.

176. Левченко Е.Н. Комбинирование методов наземного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата для повышения эффективности контроля промышленного строительства/ А. И. Гришина., Р. Р. Рамазанов, А. В. Глухов [и др.] // Вектор ГеоНаук. – 2020. - Т. 3. – № 3. - С. 55-67.

177. Логунова, О. Комплексная подсистема управления на металлургическом предприятии / О. Логунова, И. Мацко, В. Павлов // Проблемы теории и практики управления. – 2011. – № 9. – С. 51-57.

178. Логунова, О. С. Автоматизированная оценка качества непрерывнолитой заготовки / О. С. Логунова, Б. Н. Парсункин, В. Г. Суспицын // Сталь. – 2004. – № 12. – С. 101-104.

179. Логунова, О. С. Декомпозиция интеллектуальной системы принятия решений при оценке состояния зданий и сооружений промышленного предприятия: сбор информации / О. С. Логунова, М. Ю. Наркевич // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: сборник материалов X Всероссийской конференции, Оренбург, 18–19 ноября 2021 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. – С. 143-147.

180. Логунова, О. С. Интеллектуальная поддержка формирования структуры шихты для плавки в дуговой сталеплавильной печи / О. С. Логунова, Н. С. Сибилева, В. В. Павлов // Сталь. – 2016. – № 10. – С. 20-24.

181. Логунова, О. С. Информатика. Курс лекций [Текст]: учебник / О. С. Логунова. – изд. 2-е, испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 148 с.: ил., табл.; 21 см. – ISBN 978-5-8114-3266-0.

182. Логунова, О. С. Качество стали / О. С. Логунова, Х. Х. Нуров // Компьютерные учебные программы и инновации. – 2005. – № 2. – С. 51-52.

183. Логунова, О. С. Критерии оценки качества изображения серного отпечатка темплета непрерывнолитой заготовки для автоматизированной информационной системы управления качеством / О. С. Логунова // Новые программные средства для предприятий Урала. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2003. – С. 119-125.

184. Логунова, О. С. Методика исследования предметной области на основе теоретико-множественного анализа / О. С. Логунова, Е. А. Ильина // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2012. – № 2. – С. 281-291.

185. Логунова, О. С. Оценка статистическими методами серного отпечатка поперечного темплета непрерывнолитой заготовки / О. С. Логунова, В. В. Павлов, Х. Х. Нуров // *Электрометаллургия*. – 2004. – № 5. – С. 18-24.

186. Логунова, О. С. Повышение эффективности АСУ ТП непрерывной разливки стали [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 / Логунова Оксана Сергеевна. – Пенза, 2009. – 383 с.

187. Логунова, О. С. Применение методов цифровой обработки изображений для оценки серного отпечатка с темплета непрерывнолитого слитка / О. С. Логунова, А. А. Стороженко // *Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр.* – Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2001. – Т. 2. – С. 87-92.

188. Логунова, О. С. Система интеллектуальной поддержки выбора шихтовых материалов для дуговой сталеплавильной печи: консолидация эмпирической и экспертной информации / О. С. Логунова, Н. С. Сибилева, В. В. Павлов // *Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах*. – 2016. – Т. 4. – № 2. – С. 26-31.

189. Логунова, О. С. Структура и алгоритмы программного обеспечения для автоматизированной оценки качества непрерывнолитого слитка / О. С. Логунова, Х. Х. Нуров // *Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии*. – 2004. – № 1. – С. 168-174.

190. Логунова, О.С. Системный подход к исследованию информационных потоков при управлении качеством продукции / О. С. Логунова // *Проблемы теории и практики управления*. – 2008. – № 6. – С. 56-63.

191. Майборода, А. О. Энергетика марсианских колоний / А. О. Майборода // *Воздушно-космическая сфера*. – 2019. – № 4(101). – С. 38-45.

192. Майборода, А. О. Ядерная индустриализация Луны / А. О. Майборода // *Воздушно-космическая сфера*. – 2021. – № 4(109). – С. 68-77.

193. Максаков, А. А. Обеспечение качества внедрения автоматизированных систем оперативной обработки информации на среднемасштабных предприятиях : специальность 05.25.05 «Информационные системы и процессы» : автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Максимов Алексей Александрович. – Москва, 2006. – 18 с. – EDN NKBBGD.

194. Малахова, Ю. Г. Управление качеством на основе функционально-стоимостного анализа и процессного подхода / Ю. Г. Малахова, Е. А. Жирнова // Сертификация. – 2015. – № 4. – С. 26-31.

195. Матвеев, Ю. Н. Применение информационных технологий при прогнозировании неисправностей технических систем / Ю. Н. Матвеев // Актуальные вопросы информатизации Федеральной службы исполнения наказаний на современном этапе развития уголовно-исполнительной системы: сборник материалов круглого стола, Тверь, 24 июня 2019 года. – Тверь: Федеральное казенное учреждение «Научно-исследовательский институт информационных технологий Федеральной службы исполнения наказаний», 2019. – С. 79-81. – EDN BGGMBF.

196. Математическая модель процесса изнашивания и прогнозирования срока службы рабочих валков клетки кварто при подаче смазочного материала / С. И. Платов, Р. Н. Амиров, Р. Р. Дема [и др.] // Производство проката. – 2012. – № 9. – С. 38-43.

197. Международный стандарт ISO 9000:2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь [Текст]. – Введ. 2015–11–01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 49 с.

198. Мезин, И. Ю. Развитие теории и технологии формирования металлоизделий холодным прессованием структурно-неоднородных материалов : специальность 05.16.05 "Обработка металлов давлением" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Мезин Игорь Юрьевич. – Магнитогорск, 2001. – 360 с. – EDN QDLGWV.

199. Мезин, И. Ю. Управление качеством продукции промышленных предприятий на основе применения концепции «кайдзен» / И. Ю. Мезин, А. С. Лимарев // Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем: сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 30–31 мая 2019 года / Юго-Западный государственный университет. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 73-76.

200. Методика определения технического состояния кожухов доменных печей и воздухонагревателей. РД 11-288-99: утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 02.06.99. № 35. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029720> (дата обращения: 07.02.2022).

201. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. РД 03-496-02: утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 29.10.02 № 63. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200031148?section=status> (дата обращения: 17.04.2022).

202. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. ВК477: утв. Приказом Минэкономики России от 21.06.99. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005634?-section=text> (дата обращения: 18.04.2022).

203. Методология внедрения современных методов менеджмента качества для улучшения бизнес-процессов / Д. В. Антипов, Ю. С. Елисеев, А. Ю. Газизулина [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18. – № 4. – С. 40-44.

204. Миков, А. Ю. Математическое обеспечение и структура системы интеллектуальной поддержки системы управления оценкой качества поверхности холоднокатаного проката / А. Ю. Миков, О. С. Логунова, А. В. Маркевич // Электротехнические системы и комплексы. – 2016. – № 1(30). – С. 45-51.

205. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Приказ от 10 ноября 2017 г. № 1093 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (с изменениями на 11 мая 2022 года)». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и норма-

тивно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/-573956750> (дата обращения: 05.12.2022).

206. Миронов, Н. А. Актуальные вопросы информационного обеспечения экспертно-аналитических исследований в системе подготовки научно-технических документов в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства / Н. А. Миронов, Е. А. Марышев, Н. А. Дивуева // Инноватика и экспертиза: научные труды. – 2019. – № 1(26). – С. 221-229. – EDN YFGTDC.

207. Митрофанов, И. Г. Об освоении Луны. Планы и ближайшие перспективы / И. Г. Митрофанов, Л. М. Зеленый // Земля и Вселенная. – 2019. – № 4. – С. 16-37.

208. Михайловский, И. А. Методика проведения и обработка результатов объединенных испытаний верхних шаровых пальцев передней подвески автомобилей ВАЗ 2101-2107 / И.А. Михайловский, И.Г. Гун, В.В. Лапчинский // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2004. – №4(8). – С. 43–50.

209. Михайловский, И. А. Повышение результативности производства шаровых шарниров на основе регламентации комплекса требований к качеству изделий и материалов [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23 / Михайловский Игорь Александрович. – Магнитогорск, 2011. – 342 с.

210. Мичурин, С. В. Методы оценки и улучшения качества программных комплексов диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте [Текст]: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 05.02.23 / С.В. Мичурин. – СПб., 2016. – 39 с.

211. Мишин В. М. Управление качеством [Текст]: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Менеджмент организации» / В. М. Мишин. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 463 с.

212. Моллер, А. Б. Методология управления качеством в сортопрокатной технологической системе на основе адаптивных моделей формирования потребительских свойств продукции [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23 / Моллер Александр Борисович. – Магнитогорск, 2011. – 304 с.

213. Моллер, А. Б. Модель настройки сортопрокатного стана при матричном описании формоизменения в калибрах простой формы / А. Б. Моллер, А. А. Зайцев, О. Н. Тулупов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1999. – № 10. – С. 15-18.

214. Мониторинг состояния зданий и сооружений с помощью беспилотных летательных аппаратов: результаты пилотного эксперимента / М.Ю. Наркевич, О.С. Логунова, В.Д. Корниенко [и др.] // Программное обеспечение для цифровизации предприятий и организаций: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференция, Магнитогорск, 14–16 июня 2021 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – С. 33-37.

215. Моргунова, Э. В. Сущность управления системой менеджмента качества на промышленных предприятиях России / Э. В. Моргунова // Приоритетные направления развития образования и науки : сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 30 июля 2017 года в 2-х т. / Редкол.: О.Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью "Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2017. – С. 188-189.

216. Мухамедов, Р. Н. Формирование облика экспертной системы реального времени для системы предупреждения аварий на промышленных предприятиях / Р. Н. Мухамедов // Наука. Технологии. Инновации: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 23 мая 2019 года / Отв. ред.: Сукиасян Асатур Альбертович. – Магнитогорск: Общество с ограниченной ответственностью «Агентство международных исследований», 2019. – С. 49-52. – EDN YYPNEB.

217. Назаров, А. Д. Лунная гонка: уроки, проблемы и перспективы / А. Д. Назаров // Вопросы политологии. – 2019. – Т. 9. – № 11(51). – С. 2321-2336.

218. Наркевич, М. Ю. Анализ существующих методик расчета внецентренно сжатых трубобетонных колонн городских сооружений и зданий / М. Ю. Нарке-

вич, А. Л. Кришан // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – 2012. – № 1. – С. 23.

219. Наркевич, М. Ю. Аналитические зависимости для определения текущих значений коэффициента поперечных деформаций, ориентированно армированных полимерных композиционных материалов / М. Ю. Наркевич // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2020. – № 9(1033). – С. 36-37.

220. Наркевич, М. Ю. Инсоляция как показатель качества / М. Ю. Наркевич. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2022. – 159 с.

221. Наркевич, М. Ю. Исследование работы центрально сжатых сталетрубо-бетонных элементов с ядром из высокопрочного бетона и тонкостенной оболочкой / М. Ю. Наркевич, А. И. Сагадатов // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2017. – № 11(999). – С. 14-15.

222. Наркевич, М. Ю. Метод комплексной количественной оценки качества опасных производственных объектов с использованием S -образных кривых / М. Ю. Наркевич // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2021. – Т. 19. – № 4. – С. 91-97.

223. Наркевич, М. Ю. Метод оценки единичных показателей качества материалов, изделий, конструкций зданий и сооружений на опасных производственных объектах с использованием S -образных кривых / М. Ю. Наркевич // Качество. Инновации. Образование. – 2021. – № 5(175). – С. 70-74.

224. Наркевич, М. Ю. Методика определения эквивалентной площади точечного и протяженного внутренних дефектов сварных швов при ультразвуковом контроле качества стальных строительных конструкций заводского изготовления / М. Ю. Наркевич, К. Д. Обухов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2017. – Т. 3. – № 1. – С. 101-106.

225. Наркевич, М. Ю. Оценка единичного показателя качества продукции на основе S -образных логистических кривых / М. Ю. Наркевич, Е. А. Ильина, А. А. Мехонцев // Перспективы науки. – 2020. – № 6(129). – С. 54-57.

226. Наркевич, М. Ю. Проблемы контроля и оценки качества при изготовлении и монтаже стальных строительных конструкций зданий и сооружений / М. Ю. Наркевич // Архитектура. Строительство. Образование. – 2012. – № 1. – С. 130-137.

227. Наркевич, М. Ю. Прочность цилиндрических образцов из высокопрочного напрягающего самоуплотняющегося бетона при твердении в условиях двух- и трехосного ограничения деформаций / М. Ю. Наркевич, А. А. Мехонцев // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2020. – № 9(1033). – С. 51-53.

228. Наркевич, М. Ю. Совершенствование нормативов расходов заказчика на осуществление контроля качества при строительстве и реконструкции опасных производственных объектов / М. Ю. Наркевич // Качество. Инновации. Образование. – 2021. – № 6(176). – С. 50-55.

229. Наркевич, М. Ю. Спецификация математических моделей, применяемых для оценки качества продукции / М. Ю. Наркевич // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 12. – С. 351-354.

230. Наркевич, М. Ю. Численное моделирование прочности и деформативности кольцевых образцов из полимерного композиционного материала / М. Ю. Наркевич, А. А. Мехонцев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2020. – Т. 11. – № 2. – С. 11-14.

231. Наркевич, М. Ю. Численное моделирование сквозных трубобетонных колонн промышленных зданий / М. Ю. Наркевич // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2014. – Т. 2. – С. 36-39.

232. Наркевич, М.Ю. Визуальный контроль как основа для разработки автоматизированных систем дистанционного контроля и оценки качества зданий и сооружений на опасных производственных объектах / М.Ю. Наркевич, В.Д. Корниенко, М.А. Полякова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 5. – С. 570-576. – DOI 10.24412/2071-6168-2021-5-570-576.

233. Научно-педагогическая школа Магнитогорского государственного технического университета по управлению качеством продукции и производст-

венных процессов / Г. С. Гун, И. Ю. Мезин, А. Г. Корчунов [и др.] // Качество в обработке материалов. – 2014. – № 1(1). – С. 5-9.

234. Нищета, С.А. Оценка качества мостовых кранов, эксплуатируемых в условиях металлургического производства / С. А. Нищета, К. В. Марков, М. Ю. Наркевич // Качество и жизнь. – 2022. – № 2(34). – С. 3-7.

235. Нищета, С.А. Статистическое моделирование загружений стальных колонн мостовыми кранами / С. А. Нищета, К. В. Марков, М. Ю. Наркевич // Строительные и дорожные машины. – 2022. – № 1. – С. 27-31.

236. Новиков, А.М. Методология : основания методологии, методология научного исследования, методология практической деятельности, введение в методологию художественной деятельности, методология учебной деятельности, введение в методологию игровой деятельности [Текст]: учебно-методическое пособие / А. М. Новиков, Д. А. Новиков ; Российская акад. наук, Ин-т проблем упр., Российская акад. образования , Ин-т упр. образованием. – М.: СИНТЕГ, 2007. – 660, [1] с. : ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-89638-100-6.

237. Новые решения в моделировании и практике процессов сортовой прокатки на основе структурно-матричного подхода и его приложений / О. Н. Тулупов, А. Б. Моллер, М. Г. Поляков [и др.] // Производство проката. – 2004. – № 7. – С. 19-26.

238. О необходимости системного подхода к научным исследованиям в области комплексной безопасности и предотвращения аварий зданий и сооружений / В. Н. Пономарев, В. И. Травуш, В. М. Бондаренко [и др.] // Архитектура. Строительство. Образование. – 2014. – № 2(4). – С. 7-16.

239. Обеспечение промышленной безопасности ОПО / А. Жадаев, М. Ермолин, С. Орлов [и др.] // ТехНадзор. – 2015. – № 11(108). – С. 218-219. – EDN XHVBED.

240. Обзор существующих подходов к исследованию динамики качества продукции / В. Е. Пузанов, А. Г. Ивахненко, И. В. Зотов, К. В. Подмастерьев // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2014. – № 1(52). – С. 49-58. – EDN SFFLOL.

241. Овчинников, А. Н. Информационная модель объекта капитального строительства / А. Н. Овчинников, А. А. Волков // Перспективы науки. – 2018. – № 10(109). – С. 12-15.

242. Одинокоев, С.А. Методология управления и улучшения качества технологии высокоскоростного затвердевания расплава [Текст]: дис. ... д-ра тех. наук: 05.02.23 / С.А. Одинокоев. – М., 2016 - 342 с.

243. Окрепилов, В.В. Управление качеством [Текст]: учеб. для студентов вузов, обучающихся по спец. «Менеджмент» / В. В. Окрепилов. - 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Экономика, 1998. – 639 с.: ил.; 22 см.; ISBN 5-282-01912-4.

244. Определение деформационных характеристик бетона / А. Л. Кришан, М. А. Астафьева, М. Ю. Наркевич [и др.] // Естественные и технические науки. – 2014. – № 9-10(77). – С. 367-369.

245. Основные виды и области применения наноструктурированного высокопрочного листового проката / М. В. Чукин, В. М. Салганик, П. П. Полецков [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 4(48). – С. 41-44.

246. Особенности реологических свойств конструкционных наносталей / М. В. Чукин, Г. С. Гун, М. П. Барышников [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2008. – № 1(21). – С. 24-27.

247. Отраслевой руководящий документ. Техническая эксплуатация железобетонных конструкций производственных зданий. Часть II [Текст]: ОРД утв. 30.07.1993 – М.: Комитет Российской Федерации по металлургии, 1993. – 49 с.

248. Отраслевой руководящий документ. Техническая эксплуатация железобетонных конструкций производственных зданий. Часть I [Текст]: ОРД утв. 21.04.1993. – М.: Комитет Российской Федерации по металлургии, 1993. – 140 с.

249. Оучи, У. Методы организации производства: японский и американский подходы [Текст] : Сокр. пер. с англ. / Уильям Оучи. – М.: Экономика, 1984. – 183 с.

250. Пакеева, В. В. Исследование эффективной системы управления качеством / В. В. Пакеева // Современное общество и власть. – 2015. – № 4(6). – С. 200-203.

251. Палюх, Б. В. Реализация экспертной системы для оценки инновационности технических решений / Б. В. Палюх, В. К. Иванов, И. В. Образцов // Программные продукты и системы. – 2019. – № 4. – С. 696-707. – EDN HIEWWV.

252. Пантюхин, О. В. Разработка методологии управления качеством продукции ответственного назначения на основе цифровых двойников технологических процессов и изделий (на примере изготовления гильз для высокоэффективных патронов) [Текст]: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 05.02.23 / О.В. Пантюхин. – Тула, 2021. – 32 с.

253. Панюков, Д. И. Проектирование новых производственных процессов / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский, Г. Г. Сластина // Стандарты и качество. – 2014. – № 11. – С. 92-95. – EDN SYDNFV.

254. Панюков, Д. И. Совершенствование методологии анализа и управления техническими рисками в производственных системах: специальность 05.02.23 «Стандартизация и управление качеством продукции»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Д. И. Панюков – Самара, 2021. – 36 с.

255. Панюков, Д. И. Фундаментальные основы FMEA для автомобилестроения [Текст]: монография / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский. – Самара: Автономная некоммерческая организация «Издательство Самарского Научного Центра», 2014. – 150 с. – ISBN 978-5-93424-724-0. – EDN UIAKBZ.

256. ПАО «ММК» : официальный сайт. – Магнитогорск. – URL: <https://mmk.ru/ru/about/> (дата обращения: 05.12.2022).

257. Паспорт национального проекта «Наука» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16). – Текст : электронный // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: https://aviatp.ru/files/nationalproject/Nauka_project.pdf (дата обращения: 07.02.2022).

258. Патент № 2534371 С1 Российская Федерация, МПК G06F 17/40. Способ дистанционного контроля за опасными производственными объектами на базе информационно-технологических систем с использованием средств радиочастотной идентификации и комплекс устройств для его реализации: № 2013130376/08: заявл. 02.07.2013: опубл. 27.11.2014 / А. А. Короткий, А. Н. Иванченко, А. А. Масленников [и др.]. – EDN WRATPV.

259. Патент № 2682020 С1 Российская Федерация, МПК G06K 17/00. Способ дистанционного контроля безопасности при эксплуатации объекта на базе цифровых информационно-технологических систем: № 2018106776: заявл. 22.02.2018: опубл. 14.03.2019 / А. В. Лагерев, И. А. Лагерев, П. С. Каныгин [и др.]. – EDN ZEADRR.

260. Патент на полезную модель № 116537 U1 Российская Федерация, МПК E04C 3/36, E04C 3/34. Строительный элемент в виде стойки: № 2012100203/03 : заявл. 10.01.2012: опубл. 27.05.2012 / А. Л. Кришан, М. Ю. Наркевич, А. И. Сеницын; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

261. Пепеляева, Н. А. Оценка эффективности системы управления качеством продукции предприятия / Н. А. Пепеляева, О. В. Балобанова // Актуальные вопросы экономических наук. – 2008. – № 2. – С. 253-257.

262. Перевалов, А. Е. Методическое обеспечение экспертной системы оценки надежности промысловых трубопроводов при проведении экспертизы промышленной безопасности / А. Е. Перевалов, И. Е. Перевалов, М. Ю. Земенкова // Нефтегазовый терминал: материалы Международной научно-технической конференции «Транспорт и хранение углеводородного сырья», Тюмень, 25–26 апреля 2019 года / под. общ. ред. С. Ю. Подорожникова. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 259-262. – EDN IVQDXS.

263. Песин, А. М. Управление промышленным предприятием на основе теории ограничений: основы методологии и опыт использования [Текст] / А. М.

Песин, В. М. Салганик, В. В. Жлудов. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2004. – 199 с.: ил., табл.; 21 см.; ISBN 5-89514-492-6.

264. Песин, А.М. Моделирование и развитие процессов асимметричного деформирования для повышения эффективности листовой прокатки: [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Песин Александр Моисеевич. – Магнитогорск, 2003. – 395 с.

265. Платов, С. И. Совершенствование системы охлаждения рабочих валков черновой группы клетей стана 2000 горячей прокатки ОАО «ММК» / С. И. Платов, Р. Р. Дема, М. В. Зубарева // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2011. – Т. 2. – № 69. – С. 171-173.

266. Плахотникова, Е. В. Методология обеспечения качества продукции ответственного назначения при интеграции разнородных элементов в единую техническую систему (на примере технической системы «электропривод - запорная арматура - система управления») : специальность 05.02.23 «Стандартизация и управление качеством продукции» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Плахотникова Елена Владимировна. – Тула, 2017. – 22 с. – EDN ZQDUZP.

267. Повреждаемость подкрановых балок предприятий металлургической и горнорудной промышленности / К. И. Еремин, М. В. Нащекин, К. В. Марков [и др.] // Наука и безопасность. – 2015. – № 3(16). – С. 59-77. – EDN TYNUTT.

268. Погорелов, В. А. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в строительстве / В. А. Погорелов // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 1(40). – С. 58.

269. Подсистема менеджмента качества планирования ремонтов как рычаг роста конкурентоспособности металлопродукции / А. М. Песин, В. А. Шмелев, Н. Т. Баскакова [и др.] // Сталь. – 2011. – № 1. – С. 79-84.

270. Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов. РД 08-95-95: утв. постановлением Госгортехнадзора России от 25.07.95 № 38. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов :

[сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003534> (дата обращения: 07.02.2022).

271. Попов, В. Н. Освоение космоса и комплексное инновационное развитие / В. Н. Попов // Энергия – XXI век. – 2011. – № 2-3(80-81). – С. 109-256.

272. Постановление Правительства РФ от 18.12.2020 года № 2168 «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности». – Текст : электронный // КонтурНорматив : [сайт]. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=379394> (дата обращения: 07.02.2022).

273. Постановление Правительства РФ от 28 мая 2021 года № 815 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», и о признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 4 июля 2020 г. № 985 (с изменениями на 20 мая 2022 года)». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/603700806> (дата обращения: 05.12.2022).

274. Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 года № 2415 «О проведении эксперимента по внедрению системы дистанционного контроля промышленной безопасности (с изменениями на 30 июня 2021 года)». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573319188> (дата обращения: 07.02.2022).

275. Постоянный мониторинг и внедрение перспективных методов оценки технического состояния объектов - залог защиты зданий и сооружений от аварий / М. К. Кудерин, К. И. Еремин, А. А. Фоменко [и др.] // Наука и техника Казахстана. – 2016. – № 3-4. – С. 113-116.

276. Предотвращение аварий зданий и сооружений [Электронный ресурс] : монография / Российская акад. архитектуры и строительных наук, Московский

гос. строительный ун-т, Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике [и др.] ; под ред. К. И. Ерёмкина. – Магнитогорск: ВЕЛД, 2014. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : цв.; 12 см.

277. Приказ Росстандарта от 2 апреля 2020 года № 687. Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (с изменениями на 6 июля 2022 года). – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/564577621?marker=6580IP> (дата обращения: 05.12.2022).

278. Прикладная цифровая платформа для оценки динамики качества опасных производственных объектов на металлургическом предприятии: структура и алгоритмы / М. Ю. Наркевич, О. С. Логунова, М. Б. Аркулис [и др.] // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2022. – № 5(110). – С. 29-48.

279. Применение адаптационных механизмов для Повышения качества продукции с глубокой степенью переработки / Э.М. Голубчик, А.Г. Корчунов, К.Г. Пивоварова [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – Т. 7. – № 5. – С. 131-134.

280. Промышленное производство в России. 2021: Стат.сб./Росстат. – М.: Росстат, 2021. – 305 с.

281. Протипология – новый этап развития стандартизации метизного производства / Г. Ш. Рубин, М. А. Полякова, М. В. Чукин [и др.] // Сталь. – 2013. – № 10. – С. 84-87.

282. Р НОСТРОЙ 2.35.2-2011. Система менеджмента качества. Руководство по применению стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2008 в строительных организациях [Текст]. – Введ. 2011–10–14. – М.: БСТ, 2011. – 213 с.

283. Развитие теории и технологии проектирования машин, агрегатов и инструмента в процессах обработки давлением и резания / С. И. Платов, Н. Н. Огар-

ков, Д. В. Терентьев [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1(45). – С. 112-114.

284. Разработка и применение методик контроля территории, зданий и сооружений ПАО «ММК» с использованием беспилотных воздушных судов (БВС). Этап № 01: отчет о НИОКР (промежуточ.) / Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова ; рук. М. Ю. Наркевич ; исполн. : О. С. Логунова [и др.]. – Магнитогорск, 2021. – 274 с. – Библиогр. : с. 273-274. – № ГР 121092000078-4.

285. Разработка и применение методик контроля территории, зданий и сооружений ПАО «ММК» с использованием беспилотных воздушных судов (БВС). Этап № 02: отчет о НИОКР (промежуточ.) / Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова ; рук. М. Ю. Наркевич ; исполн. : О. С. Логунова [и др.]. – Магнитогорск, 2021. – 124 с. – Библиогр. : с. 57. – № ГР 121092000078-4.

286. Разработка интеллектуальной системы распознавания сложных микроструктур на шлифах металлов и сплавов / С. И. Шарыбин, В. Ю. Столбов, М. Б. Гитман [и др.] // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2014. – № 12. – С. 50-56.

287. Разработка процесса планетарно-поворотной обкатки / И. А. Михайловский, В. И. Куцепендик, Е. И. Гун [и др.] // Металлургические процессы и оборудование. – 2014. – №1. – С. 39–45.

288. Разработка рациональных режимов подачи технологической смазки на опорные валки клетей чистовой группы станов горячей прокатки / С. И. Платов, Р. Р. Дема, М. В. Харченко [и др.] // Моделирование и развитие процессов ОМД. – 2011. – № 1. – С. 20-24.

289. Разработка структуры нормативного документа на металлопродукцию на основе принципа опережающей стандартизации / С. В. Снимщиков, М. А. Полякова, А. С. Лимарев [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2019. – Т. 17. – № 1. – С. 86-93.

290. Разработка теории квалиметрии метизного производства / Г. Ш. Рубин, М. В. Чукин, Г. С. Гун [и др.] // Черные металлы. – 2012. – № 7. – С. 15-20.

291. Разработка, моделирование и совершенствование процессов производства шаровых шарниров автомобилей / И. Г. Гун [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – №1(45). – С. 52–57.

292. Разработка, моделирование и совершенствование процессов производства шаровых шарниров автомобилей / И. Г. Гун, И. А. Михайловский, Д. С. Осипов [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1(45). – С. 52-57.

293. РД 22-01.97. Требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений поднадзорных промышленных производств и объектов (обследование строительных конструкций специализированными организациями) : утв. директором института ЦНИИПРОЕКТСТАЛЬ-КОНСТРУКЦИЯ г. Москвы В.В.Ларионовым 10.12.1997 г. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200026286> (дата обращения: 20.03.2022).

294. Реализация концепции производственного планирования на основе эффективного использования ограничений [Текст]: монография / Г.С. Сеничев, В.И. Шмаков, И.В. Виер [и др.]. – М.: Экономика, 2006. – 210 с. – ISBN 5-282-02604-X.

295. Ребрин, Ю.И. Управление качеством [Текст]: учеб. пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 174 с.

296. Результаты тестирования экспертной системы агрегированной оценки уровня промышленной безопасности на объектах железнодорожного транспорта / Е. А. Асламова, М. В. Кривов, В. С. Асламова [и др.] // Математические методы в технике и технологиях. – 2018. – Т. 4. – С. 103-106. – EDN YLNIWT.

297. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093756> (дата обращения: 20.03.2022).

298. Рекомендации по стандартизации (Р 50.1.028-2001). Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200028629> (дата обращения: 07.02.2022).

299. Российская Федерация. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ (последняя редакция). – Текст : электронный // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/ (дата обращения: 07.02.2022).

300. Российская Федерация. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ (последняя редакция). – Текст : электронный // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения: 07.02.2022).

301. Российская Федерация. Федеральный закон от 21 июля 1997 № 116-ФЗ (ред. От 11.06.2021) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». – Текст : электронный // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/6e24082b0e98e57a0d005f9c20016b1393e16380/ (дата обращения: 07.02.2022).

302. Российская Федерация. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». – Текст : электронный // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/6e24082b0e98e57a0d005f9c20016b1393e16380/ (дата обращения: 06.03.2022).

303. Рубин, Г. Ш. S-образная математическая модель единичной оценки качества / Г. Ш. Рубин, Е. Г. Касаткина // Качество в обработке материалов. – 2014. – № 2(2). – С. 74-81.

304. Рубин, Г. Ш. Математическая модель процедуры согласования позиций потребителя и изготовителя / Г. Ш. Рубин, Ю. В. Данилова, М. А. Полякова // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2015. – Т. 8. – № 5. – С. 655-662.

305. Рубин, Г. Ш. Развитие научных основ стандартизации / Г. Ш. Рубин, М. А. Полякова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1(45). – С. 97-101.

306. Рубин, Г. Ш. Развитие научных основ стандартизации / Г. Ш. Рубин, М. А. Полякова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1(45). – С. 97-101.

307. Рубин, Г. Ш. Стандартизация метизной продукции: особенности, проблемы, перспективы развития / Г. Ш. Рубин, Г. С. Гун, М. А. Полякова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № 10-2. – С. 27-34.

308. Рубин, Г. Ш. Функционально-целевой анализ качества изделий / Г. Ш. Рубин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2011. – № 2(34). – С. 29-30.

309. Рубинов, П. В. Механизм управления затратами на качество продукции в системе менеджмента качества промышленного предприятия : специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности, в т.ч.: экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами; управление инновациями; региональная экономика; логистика; экономика труда; экономика народонаселения и демография; экономика природопользования; экономика предпринимательства; маркетинг; менеджмент; ценообразование; экономическая безопасность; стандартизация и управление качеством продукции; землеустройство; рекреация и туризм)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Рубинов Павел Владимирович. – Тамбов, 2005. – 24 с. – EDN NJUSKJ.

310. Руководство по методике и опыту оптимизации свойств бетона и бетонной смеси. – М.: Стройиздат, 1973. – 43 с.

311. Рыков А. С. Модели и методы системного анализа: принятие решений и оптимизация [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подгот. дипломир. специалистов «Металлургия» и «Физ. моделиро-

вание» / А.С. Рыков. – М. : МИСиС : Руда и металлы, 2005. – 351 с. : ил., табл.; 24 см. – ISBN 5-87623-135-5.

312. Савина, Н. В. Управление качеством электроэнергии в системах электроснабжения металлургических предприятий в рыночных условиях / Н. В. Савина, Т. С. Козлова // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2012. – № 6. – С. 84-92.

313. Савинов, А. С. Методологические основы оценки и прогнозирования напряженно-деформированного состояния системы «отливка – форма» для предупреждения образования горячих трещин в фасонных отливках [Текст]: дис. ... д-ра тех. наук: 05.16.04 / Савинов Александр Сергеевич. – Магнитогорск, 2016. – 382 с.

314. Салганик, В. М. Новые экономические оценки и планирование производства на основе теории ограничений / В. М. Салганик, А. М. Песин, В. В. Жлуков // Производство проката. – 2004. – № 6. – С. 41-45.

315. Салимова, Т. А. История управления качеством [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов / Т. А. Салимова, Н. Ш. Ватолкина. – М.: КНОРУС, 2005. – 250 с. : ил., табл.; 21 см.; ISBN 5-85971-054-2.

316. Самсонова, Е.В. Адаптивный маркетинг и его применение на промышленных предприятиях [Текст] : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Самсонова Елена Владимировна. – Волгоград, 2006. – 153 с.

317. Сафонов, Д. С. Структура интерактивной системы автоматизированного проектирования конструкции секций вторичного охлаждения машины непрерывного литья заготовок / Д. С. Сафонов, О. С. Логунова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2014. – № 2(5). – С. 75-81.

318. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019660512 Российская Федерация. Qualimetric Unit Quality Estimation : № 2019619196 : заявл. 29.07.2019 : опубл. 07.08.2019 / М. Ю. Наркевич, Г. Ш. Рубин, Г. С. Гун [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное обра-

зовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

319. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020661483 Российская Федерация. Quality evaluation of high strength self-compacting concrete : № 2020660313 : заявл. 14.09.2020 : опубл. 24.09.2020 / М. Ю. Наркевич, Е. А. Ильина, А. Ю. Кузнецов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

320. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020661627 Российская Федерация. Calculation of concrete mix components : № 2020660348 : заявл. 14.09.2020 : опубл. 28.09.2020 / М. Ю. Наркевич, Е. А. Ильина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – EDN KIWZDS.

321. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666171 Российская Федерация. Automatic completion and filling of forms with inaccurate borders on digital images : № 2021665140 : заявл. 30.09.2021 : опубл. 08.10.2021 / М. Ю. Наркевич, В. Д. Корниенко, А. А. Николаев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

322. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666151 Российская Федерация. Automatic video comparison of the source and processed digital video streams : № 2021665210 : заявл. 01.10.2021 : опубл. 08.10.2021 / М. Ю. Наркевич, В. Д. Корниенко, А. А. Николаев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

323. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666066 Российская Федерация. Automated search for frame differences in a

digital video stream : № 2021665120 : заявл. 01.10.2021 : опубл. 07.10.2021 / М. Ю. Наркевич, В. Д. Корниенко, А. А. Николаев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

324. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666037 Российская Федерация. Automatic detection of damage parameters from digital images : № 2021665102 : заявл. 30.09.2021 : опубл. 06.10.2021 / М. Ю. Наркевич, В. Д. Корниенко, А. А. Николаев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

325. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021665912 Российская Федерация. Automatic selection of destruction boundaries on digital images : № 2021665010 : заявл. 29.09.2021 : опубл. 05.10.2021 / М. Ю. Наркевич, В. Д. Корниенко, А. А. Николаев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

326. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021665823 Российская Федерация. Automatic detection of frame differences at time points of a digital video stream : № 2021664993 : заявл. 29.09.2021 : опубл. 04.10.2021 / М. Ю. Наркевич, В. Д. Корниенко, А. А. Николаев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

327. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611489 Российская Федерация. Automatic formation of a damage map in the selected area of a digital video of the control object by calculating the frame difference : № 2022610026 : заявл. 11.01.2022 : опубл. 26.01.2022 / М. Ю. Наркевич, О. С. Логунова, А. А. Николаев, В. Д. Корниенко ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

328. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611443 Российская Федерация. Generating an array of grayscale images from a selected video file : № 2022610030 : заявл. 11.01.2022 : опубл. 25.01.2022 / М. Ю. Наркевич, А. А. Николаев, О. С. Логунова [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

329. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611311 Российская Федерация. Automatic integration of the digital video of the control object with the damage video map : № 2022610211 : заявл. 10.01.2022 : опубл. 24.01.2022 / М. Ю. Наркевич, О. С. Логунова, А. А. Николаев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

330. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611213 Российская Федерация. Universal library for working with digital images: asynchronous computation with image collections; the use of algorithms: blurring images, highlighting the boundaries of images, building skeletons of shapes on binarized images, determining the difference in colors and finding frame differences : № 2022610219 : заявл. 12.01.2022 : опубл. 21.01.2022 / М. Ю. Наркевич, О. С. Логунова, А. А. Николаев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

331. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022615149 Российская Федерация. Automatic QR-code zone image cropper : № 2022614303 : заявл. 24.03.2022 : опубл. 30.03.2022 / М. Ю. Наркевич, В. Д. Корниенко, А. А. Николаев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

332. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022616419 Российская Федерация. Automatic video panorama former :

№ 2022614440 : заявл. 24.03.2022 : опубл. 08.04.2022 / М. Ю. Наркевич, А. А. Николаев, Н. В. Злыдарев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

333. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611290 Российская Федерация. Советующая экспертная система выработки стратегий управления промышленной безопасностью : № 2022610290 : заявл. 12.01.2022 : опубл. 24.01.2022 / В. С. Асламова, М. В. Кривов, Е. А. Асламова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ангарский государственный технический университет». – EDN WUJPCO.

334. Свод правил по проектированию и строительству (СП 13-102-2003). Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200034118> (дата обращения: 07.02.2022).

335. Свод правил по проектированию и строительству (СП 50-101-2004). Проектирование и устройство оснований фундаментов зданий и сооружений. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200038307> (дата обращения: 20.03.2022).

336. Седова, Ж. И. Требования законодательства при переходе на цифровые технологии в деятельности опасных производственных объектов / Ж. И. Седова // Пермский юридический альманах. – 2019. – № 2. – С. 128-137.

337. Сизиков В.С. Математические методы обработки результатов измерений [Текст]: учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 2001. – 334 с.

338. Синтез информационной системы управления подсистемами технического обеспечения интеллектуальных зданий / О. Л. Викентьева, А. И. Дерябин,

Л. В. Шестакова [и др.] // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12. – № 10(109). – С. 1191-1201.

339. Система менеджмента качества на основе ИСО/ТУ 16940-2002 [Текст]: монография / В. Е. Годлевский, Е. А. Вакулич, А. В. Литвинов [и др.] / под общ. ред. д.т.н. В.Е. Годлевского. – Самара: ГП «Перспектива, 2002. – 288 с.

340. Смирнова, М. С. Методы и средства улучшения качества программно-аппаратных комплексов управления мультикомпонентными системами [Текст]: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 05.02.23 / М.С. Смирнова. – СПб., 2021. – 34 с.

341. Смоленцев В. П. Управление системами и процессами [Текст]: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. П. Смоленцев, В. П. Мельников, А. Г. Схтртладзе. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 336 с.

342. Совершенствование режимов планетарной обкатки головок шаровых пальцев на основе анализа микротопографии поверхности с целью повышения качества изделий / И. А. Михайловский, В. В. Сальников, Д. С. Осипов [и др.] // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2011. – №2. – Т. 2. – С. 10–14.

343. Совершенствование СМК машиностроительного предприятия с использованием методов экспертно-функционального анализа / Д. С. Осипов, С. В. Овчинников, В. В. Майстренко [и др.] // Методы менеджмента качества. – 2012. – № 9. – С. 46-50.

344. Совет Евразийской экономической комиссии. Решение от 03 ноября 2016 года № 77. Об утверждении Правил надлежащей производственной практики Евразийского экономического союза. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456026099> (дата обращения: 07.02.2022).

345. Современное состояние и перспективы цифровизации инспекционной контрольной деятельности ПАО «Газпром» / М.И. Лукьянчиков, Ю. В. Немчин, В. В. Лесных [и др.] // Газовая промышленность. – 2021. – № 10(822). – С. 118-123.

346. Современные подходы к управлению качеством продукции для железнодорожной отрасли / И. Ю. Мезин, И. Г. Гун, А. С. Лимарев [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2017. – Т. 15. – № 3. – С. 54-61.

347. Сорокин, М.А. Управление качеством продукции массового производства на основе оптимизации процессов контроля и испытания [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Сорокин Михаил Александрович; Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина. – М., 2011. – 135 с.

348. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Поправками, с Изменениями № 1, 2, 3, 4) : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 126/пр и введен в действие с 28 августа 2017 г. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069588> (дата обращения: 20.03.2022).

349. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями № 1, 2, 3, 4) : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 декабря 2016 г. № 891/пр и введен в действие с 4 июня 2017 г. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044318> (дата обращения: 22.11.2022).

350. СП 355.1325800.2017. Конструкции каркасные железобетонные сборные одноэтажных зданий производственного назначения. Правила проектирования : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 7 декабря 2017 г. № 1631/пр. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550558706> (дата обращения: 07.02.2022).

351. СП 356.1325800.2017 Конструкции каркасные железобетонные сборные многоэтажных зданий. Правила проектирования : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2017 г. № 1661/пр. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550558717> (дата обращения: 07.02.2022).

352. Степанов, А. Е. Применение экспертного метода для определения параметров коэффициента совмещения сельскохозяйственных потоков при внедрении монолитных структур / А. Е. Степанов // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 5(95). – С. 43-45. – EDN ХТЕВСК.

353. Столбов, В. Ю. Модель интеллектуальной системы управления производством / В. Ю. Столбов, С. А. Федосеев // Проблемы управления. – 2006. – № 5. – С. 36-39.

354. Строительный контроль зданий и сооружений с применением мультикоптеров и фотограмметрии / В. В. Коренев, Н. С. Орлова, А. В. Улыбин [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2018. – № 2(65). – С. 40-58.

355. Тарасов, Р. В. Формирование концепции совершенствования системы управления качеством на предприятии / Р. В. Тарасов, Н. С. Баукова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2020. – № 6(31). – С. 204-210.

356. Темеров, Т. В. Проблема оценки качества информации и эффективности ее использования / Т. В. Темеров // E-Scio. – 2019. – № 6(33). – С. 862-866.

357. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. пособие для экон. спец. вузов / под ред. В. А. Колемаева. – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с.

358. Трифонова, М. В. Эффективность совершенствования системы управления качеством / М. В. Трифонова, С. А. Сеница, В. В. Макаров // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2021. – № 8(78). – С. 181-184.

359. Тулупов, О. Н. Повышение эффективности процессов прокатки и точности сортовых профилей на основе совершенствования технологии с использованием структурно-матричных моделей [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.16.05 /

Тулупов Олег Николаевич. – Магнитогорск, 2001. – 404 с.

360. Тулупов, О. Н. Структурно-матричные модели для повышения эффективности процессов сортовой прокатки [Текст] : монография / О. Н. Тулупов. – Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2002. – 224 с. : ил., табл.; 21 см.; ISBN 5-89514-411-X.

361. Тухватулин, И. Х. Экспертная система оценки свойств сплавов / И. Х. Тухватулин, В. М. Колокольцев // Литейное производство. – 2000. – № 3. – С. 51-52.

362. Тушавин, В.А. Методология управления качеством процессов информационного обеспечения наукоемкого производства [Текст]: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 05.02.23 / В.А. Тушавин. – СПб., 2020. – 36 с.

363. Управление качеством продукции в технологиях метизного производства [Текст] / А. Г. Корчунов, М. В. Чукин, Г. С. Гун [и др.]. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2012. – 164 с. : ил., табл.; 22 см.; ISBN 978-5-98191-067-8.

364. Управление качеством продукции на современных промышленных предприятиях [Текст] / С. А. Федосеев [и др.]. – Пермь: ПНИПУ, 2011. – 228 с.

365. Управление качеством технологических процессов [Текст]: учебное пособие для студентов высших учебных заведений по специальности 34.00 – Управление качеством / Б. В. Бойцов, Ю. Ю. Комаров, Г. А. Молодцов [и др.] – М.: МАИ, 2006. – 191 с.

366. Фатхутдинов, Р.А. Конкурентоспособность: экономика, стратегия, управление [Текст] : учеб. для студентов вузов, обучающихся по техн. и экон. специальностям / Р. А. Фатхутдинов. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 311 с. : ил., табл.; 21 см. – (Высшее образование).; ISBN 5-16-000313-4.

367. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии. Приказ от 10 ноября 2020 г. № П/0412 «Об утверждении классификатора видов разрешенного использования земельных участков (с изменениями на 23 июня 2022 года)». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573114694> (дата обращения: 21.02.2022).

368. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Приказ от 20 октября 2020 г. № 420 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/573053315> (дата обращения: 07.02.2022).

369. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Приказ от 30 ноября 2020 г. № 471 «Об утверждении Требований к регистрации объектов в государственном реестре опасных производственных объектов и ведению государственного реестра опасных производственных объектов, формы свидетельства о регистрации опасных производственных объектов в государственном реестре опасных производственных объектов». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573140185> (дата обращения: 07.02.2022).

370. Федеральный закон «О лицензировании отдельных видов деятельности» от 04.05.2011 № 99-ФЗ (последняя редакция). – Текст : электронный // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_113658/ (дата обращения: 21.11.2022).

371. Федосеев, С. А. Модель календарного планирования производства с нечеткими целями и ограничениями / С. А. Федосеев, А. В. Вожаков, М. Б. Гитман // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 3(37). – С. 21-24.

372. Федосеев, С. А. Современные механизмы и инструменты управления большими производственными системами / С. А. Федосеев, М. Б. Гитман, В. Ю. Столбов // Управление большими системами: сб. тр. М.: ИПУ РАН, 2010. – Вып. 31. – С. 323-352.

373. Федосеев, С. А. Управление качеством продукции за счет оптимального планирования производства / С. А. Федосеев, М. Б. Гитман, В. Ю. Столбов // Управление большими системами: Материалы VIII Всероссийской школы-

конференции молодых ученых, Магнитогорск, 25–27 мая 2011 года / ред. кол. Новиков Д.А. (гл. ред.), Чукин М.В., Мезин И.Ю. [и др.] – Магнитогорск: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2011. – С. 350-355.

374. Федосеев, С. А. Управление производством на тактическом уровне планирования в условиях нечеткой исходной информации / С. А. Федосеев, А. В. Вожаков, М. Б. Гитман // Проблемы управления. – 2009. – № 5. – С. 36-43.

375. Фейгенбаум, А. Контроль качества продукции : [сокр. пер. с англ.] / А. Фейгенбаум; [предисл. А. В. Гличева]. – М.: Экономика, 1986. – 470 с.

376. Феоктистов, Н. А. Совершенствование технологии производства крупнотоннажных стальных отливок : специальность 05.16.04 "Литейное производство" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Н. А. Феоктистов. – Магнитогорск, 2013. – 20 с. – EDN SIBLON.

377. Формирование и функционирование интегрированной системы менеджмента качества / Г. С. Гун, В. М. Салганик, А. М. Песин [и др.] // Моделирование и развитие процессов ОМД. – 2007. – № 1. – С. 73-80.

378. Фрейман, В.И. Интегрированная система управления качеством продукции на основе методологии оценки результативности подготовки специалистов [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23 / В.И. Фрейман. – СПб., 2016. – 404 с.

379. Фролова, Е.А. Методы управления качеством интерактивных электронных технических руководств по эксплуатации и ремонту авиационной техники [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23 / Е.А. Фролова. – СПб., 2019. – 32 с.

380. Функционально-целевой анализ как метод структурирования свойств и функций металлоизделий / Г. Ш. Рубин, М. В. Чукин, Г. С. Гун [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2016. – Т. 59. – № 10. – С. 715-719.

381. Харитонова, Т. Б. Экспертная система для оценки риска аварий в ходе ремонта специализированных систем / Т. Б. Харитонова // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2014. – № 1(3). – С. 319-322. – EDN VPSVPJ.

382. Черепанов, А. П. Автоматизированный комплекс расчетов прочности и ресурсно-прочностных исследований технических устройств / А. П. Черепанов // Вестник Ангарского государственного технического университета. – 2020. – № 14. – С. 139-146. – EDN ETGYQE.

383. Чеснокова, Ж. А. Система управления затратами на качество как фактор повышения эффективности деятельности промышленного предприятия / Ж. А. Чеснокова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. – № 5-1. – С. 275-278.

384. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. – Текст : электронный // Федеральная служба государственной статистики : [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения: 07.02.2022).

385. Шаровые шарниры шасси: совершенствование конструкций, технологий, методов оценки качества [Текст] / И. А. Михайловский, И. Г. Гун, Е. И. Гун [и др.] – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2014. – 201 с. – ISBN 978-5-9967-0445-3.

386. Шингарева, Т. В. Геологическое строение и вещественный состав Фобоса [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.09 / Шингарева Татьяна Владимировна. – М., 2009. – 27 с.

387. Шувал-Сергеева, Н. С. Внедрение информационно-коммуникационных технологий в организации: от оптимизации структуры до повышения конкурентоспособности / Н. С. Шува-Сергеева, Т. А. Блатова, В. В. Макаров // Радиопромышленность. – 2017. – № 2. – С. 101-106.

388. Ярощук, О. Н. Выбор направления рекультивации нарушенных земель с использованием системного анализа и метода экспертной оценки / О. Н. Ярощук, Е. И. Хабарова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 9. – С. 180-182. – EDN KNWIUL.

*Основные термины, использованные в диссертационной работе,
и их определения*

Авария – разрушение зданий, сооружений и (или) технических устройств, применяемых на ОПО, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ [301].

Базовые показатели качества элементов ОПО – показатели, предусмотренные действующей нормативной и технической документацией и полученные традиционными методами: значения отклонений геометрических размеров элементов, прочностных и деформационных характеристик материалов, прогибов и перемещений конструкций, все виды разрушения материалов конструкций.

Единичный показатель качества продукции – показатель качества продукции, характеризующий одно из ее свойств [89].

Жизненный цикл – совокупность взаимосвязанных процессов изменения состояния продукции при ее создании, использовании (эксплуатации) и ликвидации с избавлением от отходов путем их утилизации и/или удаления [97, 102, 103].

Здание – результат строительства, представляющий собой объемную строительную систему, имеющую надземную и (или) подземную части, включающую в себя помещения, сети инженерно-технического обеспечения и системы инженерно-технического обеспечения и предназначенную для проживания и (или) деятельности людей, размещения производства, хранения продукции или содержания животных [300].

Интегративный показатель качества элементов ОПО – гармонизированный показатель, устанавливаемый согласованием базовых показателей качества, с учетом квалиметрических значений цифровых показателей.

Интегративная оценка качества элементов ОПО – качественное значение оценки интегративного показателя, отражающее степень соответствия совокупности присущих характеристик элементов ОПО установленным требованиям.

Инфраструктура промышленного предприятия – материально-технический комплекс, необходимый для функционирования производственных процессов с целью достижения соответствия продукции и услуг, включающий: здания и связанные с ними инженерные сети и системы; оборудование, включая технические и программные средства; транспортные ресурсы; информационные и коммуникационные технологии [111].

Качество продукции – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением [89].

Качество продукции – степень соответствия совокупности присущих характеристик продукции требованиям [105].

Качество продукции – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением [89].

Комплексный показатель качества продукции – показатель качества продукции, характеризующий несколько ее свойств [89].

Компьютерное зрение – способность функционального блока принимать, обрабатывать и интерпретировать визуальные данные [94].

Машинное зрение – применение компьютерного зрения к машинам, роботам, процессам или для контроля качества [94].

Механическая безопасность – состояние строительных конструкций и основания здания или сооружения, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений вследствие разрушения или потери устойчивости здания, сооружения или их части [300].

Оценка соответствия – прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту [299].

Оценка уровня качества продукции (оценка качества продукции) – совокупность операций, включающая выбор номенклатуры показателей качества оцени-

ваемой продукции, определение значений этих показателей и сопоставление их с базовыми [89].

Показатель качества продукции – количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, входящих в ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации или потребления [89].

Продукция – результат деятельности, представленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего использования в хозяйственных и иных целях [299].

Продукция производственно-технического назначения – продукция для использования в качестве средств промышленного производства [97].

Промышленная безопасность ОПО – состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий [301].

Производственный контроль качества элементов ОПО – контроль за соблюдением требований промышленной безопасности, осуществляемый организацией или индивидуальным предпринимателем, эксплуатирующим ОПО.

Свойство продукции – объективная особенность продукции, которая может проявляться при ее создании, эксплуатации или потреблении [89].

Система менеджмента качества – совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов организации для разработки Политики, целей и процессов для достижения этих целей [111, 110].

Сооружение – результат строительства, представляющий собой объемную, плоскостную или линейную строительную систему, имеющую наземную, надземную и (или) подземную части, состоящую из несущих, а в отдельных случаях и ограждающих строительных конструкций и предназначенную для выполнения производственных процессов различного вида, хранения продукции, временного пребывания людей, перемещения людей и грузов [300].

Стадия жизненного цикла продукции – условно выделяемая часть жизненного цикла продукции, характеризующаяся спецификой направленности работ, производимых на этой стадии, и конечными результатами [97, 102, 103].

Технические устройства, применяемые на ОПО – машины, технологическое оборудование, системы машин и (или) оборудования, агрегаты, механизмы, применяемые при эксплуатации ОПО [301].

Техническое регулирование – правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции или к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области применения на добровольной основе требований к продукции, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия [299].

Технический регламент – документ, принятый международным договором Российской Федерации, подлежащим ратификации в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, или в соответствии с международным договором Российской Федерации, ратифицированным в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, или указом Президента Российской Федерации, или постановлением Правительства Российской Федерации, или нормативным правовым актом федерального органа исполнительной власти по техническому регулированию и устанавливает обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции или к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации) [299].

Требования промышленной безопасности – условия, запреты, ограничения и другие обязательные требования, содержащиеся в Федеральных законах

и нормативных правовых актах Президента, Правительства Российской Федерации, а также Федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности [301].

Цифровизация – цифровой способ представления, хранения, передача и применение информации с помощью цифровых устройств [100].

Цифровые показатели качества элементов ОПО – показатели, полученные новыми цифровыми методами с использованием ПЦП: наличие или отсутствие определенных элементов на цифровом изображении, абсолютные и относительные значения размеров обнаруженных дефектов и повреждений, их прирост, динамика изменения.

Элементы ОПО (элементы, входящие в состав ОПО) – продукция производственно-технического назначения: основные производственные фонды предприятия (здания, сооружения и технические устройства), применяемые на ОПО и обладающие признаками опасности в соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [97, 301].

Экспертная оценка (экспертиза) промышленной безопасности – определение соответствия объектов экспертизы промышленной безопасности предъявляемым к ним требованиям промышленной безопасности [301].

Эксперт в области промышленной безопасности – физическое лицо, аттестованное в установленном порядке, обладающее специальными познаниями в области промышленной безопасности и участвующее в проведении экспертной оценки (экспертизы) промышленной безопасности [301].

Номенклатура и обозначение элементов контекстной модели СМК МП, эксплуатирующего ОПО

Таблица Б – Номенклатура и обозначение элементов контекстной модели СМК МП, эксплуатирующего ОПО, приведенных на рисунке 1.4

1		Обозначение элемента контекстной модели/Расшифровка
Внешние факторы		
1.1 Факторы производства		
1.1.1	Земельные участки, водные ресурсы, полезные ископаемые, географическое расположение	
1.1.2	Сырье, материалы, энергоресурсы	
1.1.3	Здания и сооружения	
1.1.4	Технологическое оборудование (технические устройства)	
1.1.5	Производственные технологии	
1.2 Внешние заинтересованные стороны		
1.2.1	Контролирующие организации	
1.2.2	Поставщики	
1.2.3	Потребители	
1.2.4	Инвесторы	
1.2.5	Органы власти	
1.2.6	Конкуренты	
1.2.7	Жители региона	
1.3 Рынок		
1.3.1	Экономические условия	
1.3.2	Курсы валют	
1.3.3	Фондовый рынок	
1.3.4	Финансовые инструменты	
1.4 Требования		
1.4.1	Законодательные требования РФ	
1.4.1.1	Требования промышленной безопасности	
1.4.1.1.1	Постановления правительства РФ в области промышленной безопасности	
1.4.1.1.1.1	Производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности	
1.4.1.1.1.2	Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности	

Продолжение таблицы Б

Обозначение элемента контекстной модели/Расшифровка	
1.4.1.1.2.1	Экспертиза технических устройств, зданий и сооружений, документации на соответствие требованиям промышленной безопасности
1.4.1.2	Требования в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций
1.4.1.3	Требования охраны окружающей среды
1.4.1.4	Требования охраны труда
1.4.1.5	Требования строительства
1.4.1.5.1	ФЗ № 384-ФЗ «Технический регламент безопасности зданий и сооружений»
1.4.1.6	Обязательные требования, установленные в соответствии с законодательством РФ о техническом регулировании
1.4.1.7	Требования санитарно-эпидемиологического благополучия населения
1.4.1.8	Требования экологической безопасности
1.4.1.9	Требования пожарной безопасности
1.4.2	Международные, национальные, отраслевые стандарты
1.4.2.1	ГОСТ Р ИСО 9001 «Системы менеджмента качества»
1.4.2.1.1	Критерии и методы для обеспечения результативности процессов СМК (4.4)
1.4.2.1.2	Критерии и методы для управления процессами СМК (4.4)
1.4.2.2	ГОСТ Р ИСО 14001 «Системы экологического менеджмента»
1.4.2.3	ГОСТ Р ИСО 45001 «Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья»
1.4.2.3.1	Обязательные требования безопасности труда и охраны здоровья
1.4.3	Специфические требования потребителей
1.5	Общество
1.5.1	Общественные организации
1.5.2	Средства массовой информации
1.5.3	Жители региона
2	Внутренние факторы
2.1	Опасные производственные объекты
2.1.1	Стадии жизненного цикла элементов ОПО
2.1.1.1	Проектирование (изготовление)

Продолжение таблицы Б

Обозначение элемента контекстной модели/Расшифровка	
2.1.1.2	Строительство (монтаж)
2.1.1.3	Эксплуатация
2.1.1.4	Реконструкция (техническое перевооружение)
2.1.1.5	Консервация
2.1.1.6	Ликвидация
2.1.2	Элементы ОПО
2.1.2.1	Технические устройства
2.1.2.2	Здания
2.1.2.3	Сооружения
2.1.3	Классификация ОПО
2.1.3.1	По месту расположения
2.1.3.2	По классу опасности
2.1.3.3	По признаку опасности
2.1.3.4	По области применения
2.2	Документированная информация
2.2.1	Руководство по качеству
2.2.2	Карты процессов
2.2.2.1	Аспекты управления элементами ОПО
2.2.2.2	Аспекты управления качеством продукции
2.2.3	Стандарты организации (СТО)
2.2.4	Должностные инструкции
2.2.4.1	Ответственность за управление элементами ОПО
2.2.5	Рабочие инструкции
2.2.6	Записи
2.2.6.1	Регистрированные результаты деятельности по управлению качеством продукции
2.2.6.2	Регистрированные результаты деятельности по управлению элементами ОПО

Продолжение таблицы Б

		Обозначение элемента контекстной модели/Расшифровка	
2.3	Процессная модель SMK		
	2.3.1	Процессы управления SMK	
		2.3.1.1 Управление SMK	
		2.3.1.2 Управление персоналом	
		2.3.1.3 Управление промышленной безопасностью	
	2.3.2	Основные процессы SMK	
		2.3.2.1 Маркетинг и продажи	
		2.3.2.2 Проектирование и разработка продукта	
		2.3.2.3 Закупка и логистика	
		2.3.2.4 Производство	
	2.3.3	Обеспечивающие процессы	
		2.3.3.1 Управление эффективностью технологического оборудования	
		2.3.3.2 Управление инфраструктурой и производственной средой	
		2.3.3.3 Управление экономикой и финансами	
		2.3.3.4 Обеспечение персоналом	
	2.4	Мониторинг, измерения, анализ и оценка	
	2.4.1	Результативность функционирования процессов SMK	
		2.4.1.1 Результативность процессов SMK	
		2.4.1.2 Результативность управления процессами SMK	
	2.4.2	Производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности	
		2.4.2.1 Порядок сбора информации	
		2.4.2.2 Порядок анализа информации	
		2.4.2.3 Порядок обмена информацией	
	2.4.3	Экспертиза промышленной безопасности	
		2.4.3.1 Экспериментальные исследования	
		2.4.3.1.1 Три уровня экспериментального исследования элементов ОПО	
		2.4.3.1.1.1 Пилотажный эксперимент-обследование	

Продолжение таблицы Б

Обозначение элемента контекстной модели/Расшифровка			
	2.4.3.1.1.1.1	Специализированный эксперимент-преобразование	
	2.4.3.1.1.1.1.1	Модульный вычислительный эксперимент-преобразование	
2.4.3.2	Экспертная оценка		
	2.4.3.2.1	Показатели качества элементов ОПО	
	2.4.3.2.1.1	Классификация дефектов и повреждений элементов ОПО	
	2.4.3.2.1.1.1	Явные	
	2.4.3.2.1.1.1.1	Цифровые показатели качества	
	2.4.3.2.1.1.2	Скрытые	
	2.4.3.2.1.1.2.2	Базовые показатели качества	
	2.4.3.2.1.1.2.2.1	Интегративный показатель качества элементов ОПО	
	2.4.3.2.1.2	Оценка динамики показателей качества элементов ОПО	
	2.4.3.2.2	Методы оценки	
	2.4.3.2.2.1	Оценка динамики изменения технического состояния элементов ОПО	
	2.4.3.2.2.2	Трехуровневый метод интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО	
	2.4.3.2.2.2.1	Алгоритм анализа текущего состояния элементов ОПО	
	2.4.3.2.2.2.2	Алгоритм реализации трехуровневого метода интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО	
	2.4.3.2.3	Экспертная оценка качества элементов ОПО	
	2.4.3.2.3.1	Правила принятия решений по результатам оценки показателей	
	2.4.3.2.3.1.1	Принцип суперпозиции	
2.4.4	Цифровизация процессов мониторинга, измерения, анализа и оценки		
	2.4.4.1	Структура прикладной цифровой платформы	
	2.4.4.1.1	Этап технологической подготовки	
	2.4.4.1.1.1	Программный модуль изучения влияния освещения на изменения яркости и контрастности	

Продолжение таблицы Б

Обозначение элемента контекстной модели/Расшифровка	
2.4.4.1.1.2	Программный модуль перевода изображения в градации серого
2.4.4.1.1.3	Программный модуль сравнения исходного и обработанного видеопотока
2.4.4.1.2	Этап изучения текущего состояния
2.4.4.1.2.1	Программный модуль сегментации элементов разрушения поверхности элементов ОПО
2.4.4.1.2.2	Программный модуль завершения и заливки формы разрушения поверхности элементов ОПО
2.4.4.1.2.3	Программный модуль формирования карты разрушения поверхности элементов ОПО
2.4.4.1.2.4	Программный модуль формирования квалитметрических оценок разрушения поверхности элементов ОПО
2.4.4.1.3	Этап изучения нового состояния
2.4.4.1.3.1	Программный модуль определения различий кадров во временных точках цифрового потока
2.4.4.1.3.2	Программный модуль интеграции нового состояния с картой разрушения поверхности элементов ОПО
2.4.4.1.3.3	Программный модуль формирования решений о мероприятиях
2.4.4.2	Интеллектуальная система принятия решений по результатам оценки технического состояния элементов ОПО
2.4.4.2.1	Цифровая тень пилотных элементов ОПО
2.4.4.2.2	Информационная модель процесса экспертной оценки качества элементов ОПО
2.5	Активы компании
2.5.1	Материальные активы
2.5.1.1	Объекты, инфраструктура и транспорт
2.5.1.2	Сырье и материалы
2.5.2	Нематериальные активы
2.5.2.1	Методики и процедуры организации и управления качеством
2.5.2.2	Методики и процедуры организации и управления элементами ОПО
2.5.2.3	Компетенции в области управления элементами ОПО
2.5.2.4	Компетенции в области управления качеством продукции

Окончание таблицы Б

Обозначение элемента контекстной модели/Расшифровка	
	2.5.2.5 Программы ЭВМ
	2.5.2.6 Базы данных
2.6	Внутренние заинтересованные стороны
	2.6.1 Руководство
	2.6.2 Персонал
	2.6.3 Собственники предприятия
2.7	Цели СМК
	2.7.1 Цели по качеству продукции
	2.7.2 Цели по результативности функционирования процессов
	2.7.2.1 Цели по качеству элементов ОПО (результативности функционирования элементов ОПО)

Примеры построенных функций принадлежности для базовых показателей качества элементов ОПО

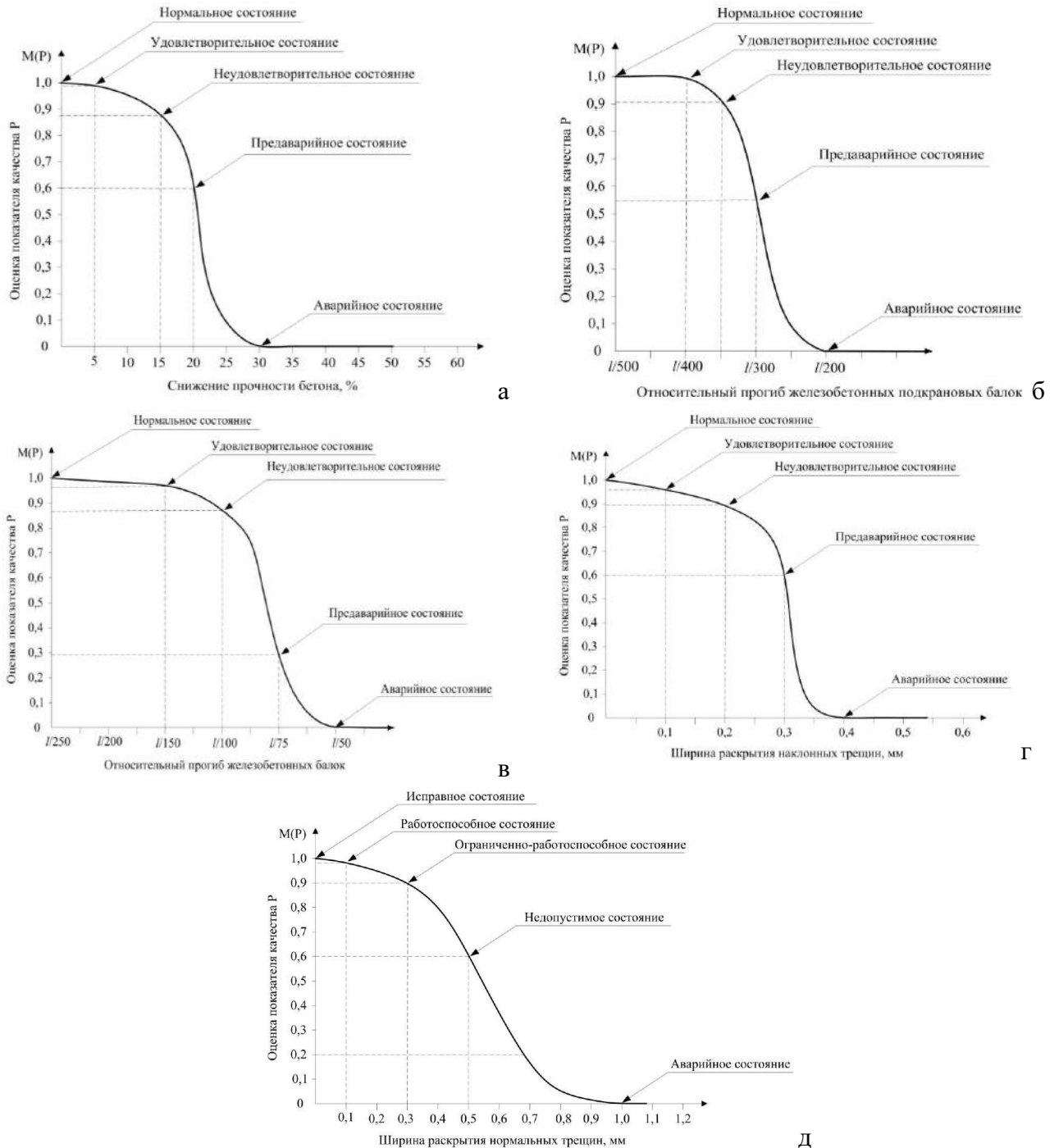


Рисунок В – Функции принадлежности для базовых показателей качества:
 а – величины снижения прочности бетона, %; б – относительного прогиба железобетонных подкрановых балок; в – относительного прогиба железобетонных балок; г – ширины раскрытия наклонных трещин железобетонных конструкций, мм; д – ширины раскрытия нормальных трещин железобетонных конструкций, мм

Схемы декомпозиции применения трехуровневого метода гармонизации интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО

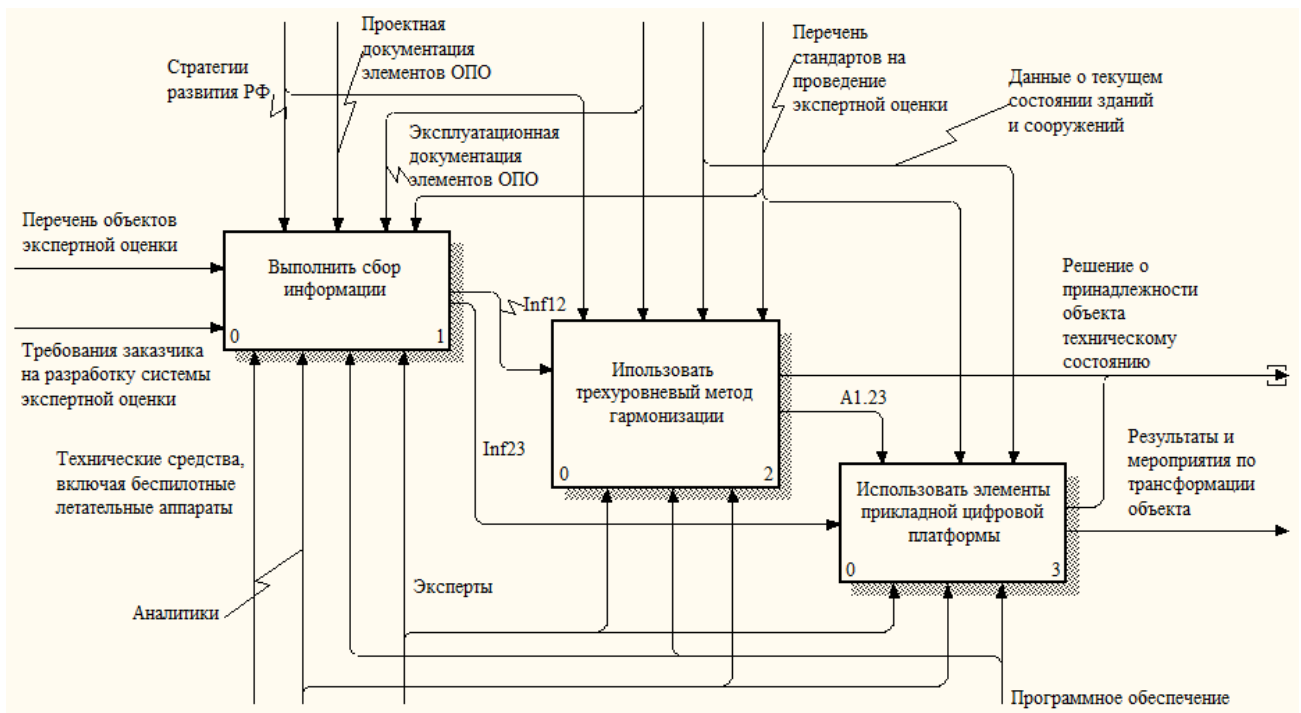


Рисунок Г.1 – Диаграмма декомпозиции A1 применения трехуровневого метода гармонизации интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО

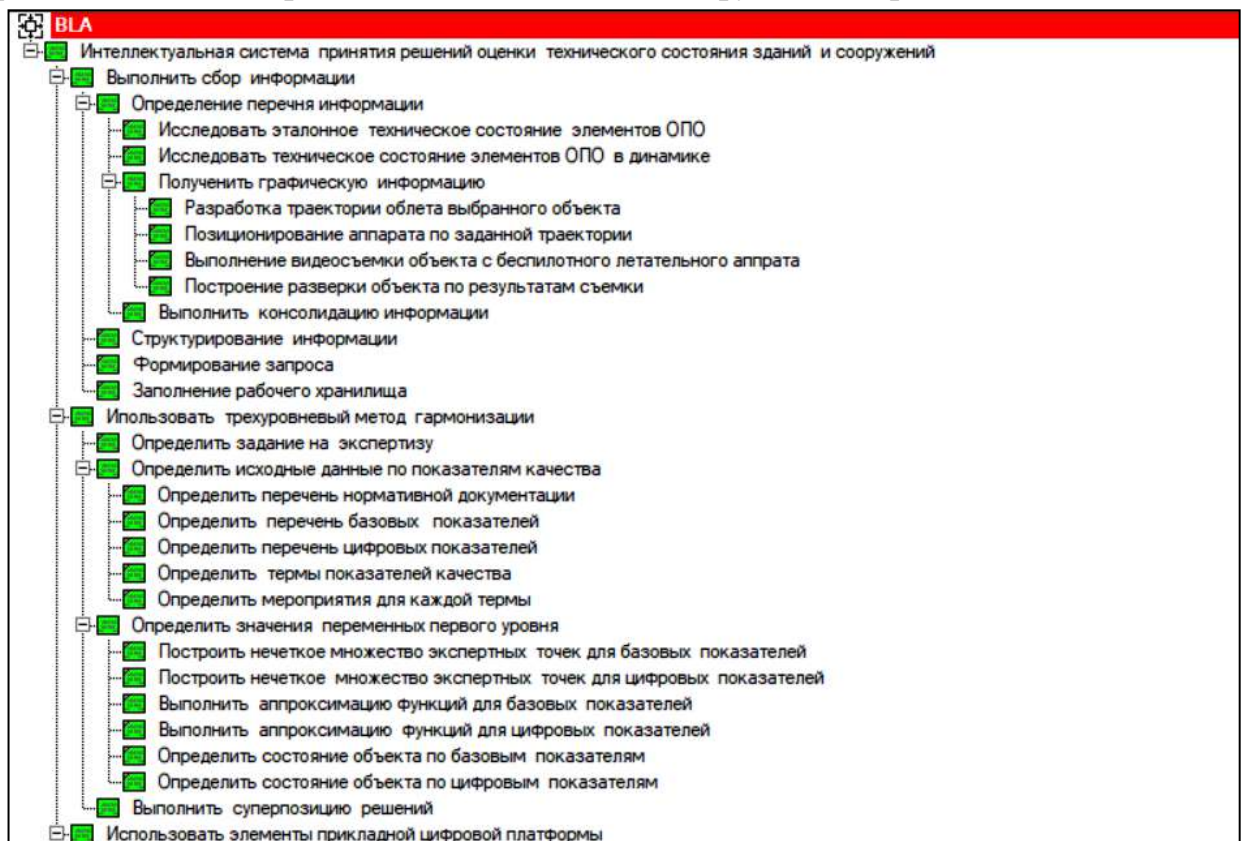


Рисунок Г.2 – Вид древовидной структуры детализации информационной модели

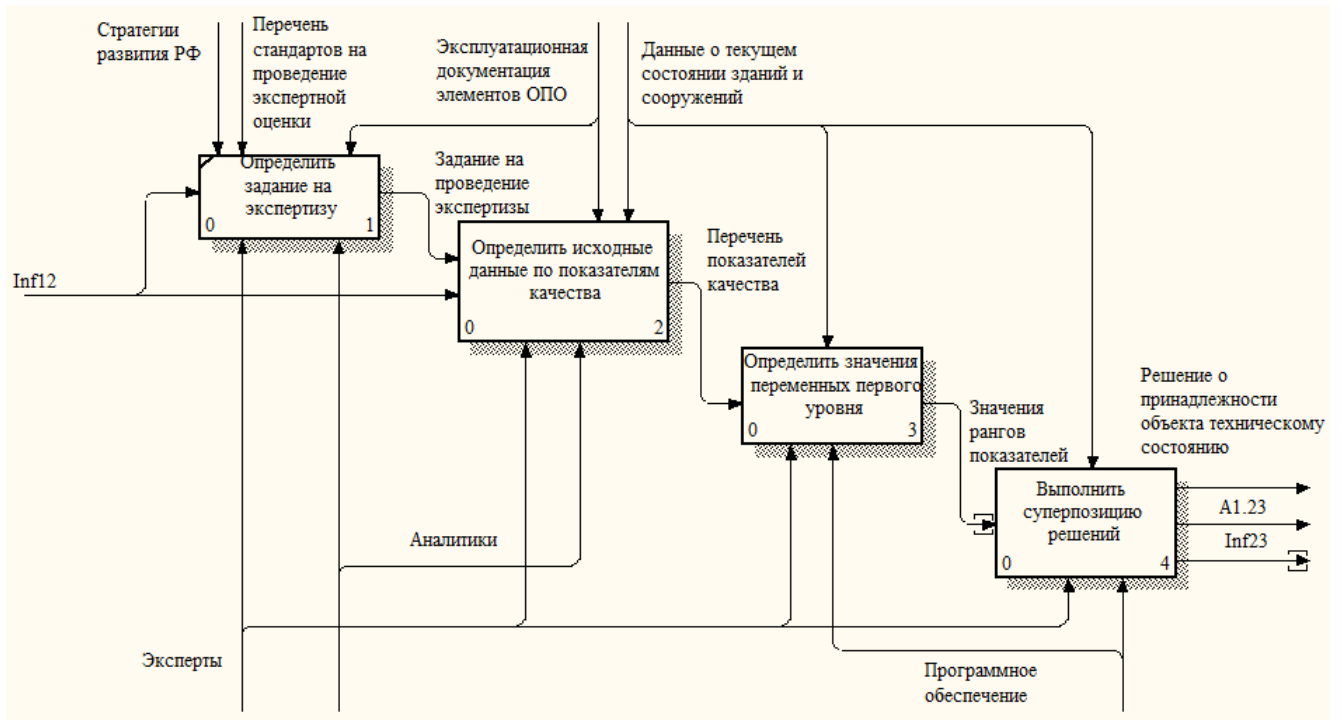


Рисунок Г.3 – Уровень декомпозиции A1.2 применения трехуровневого метода гармонизации интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО

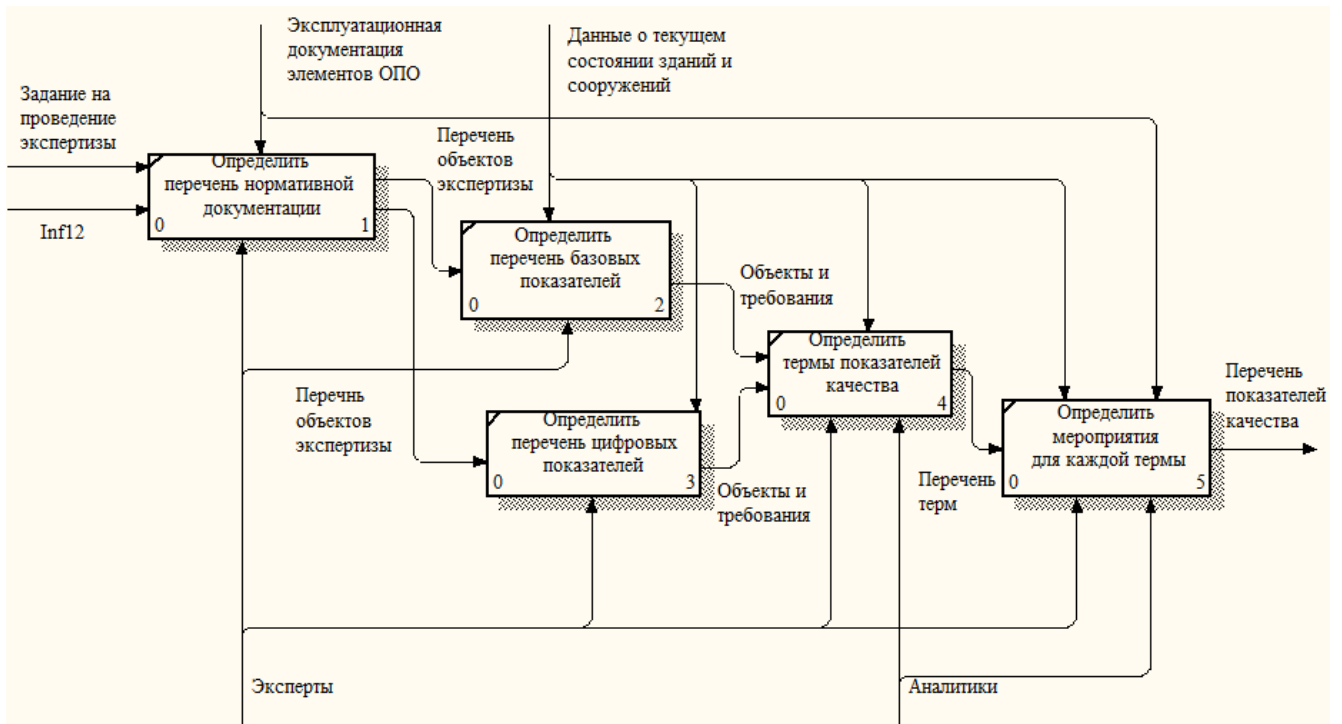


Рисунок Г.4 – Уровень декомпозиции A1.2.1 применения трехуровневого метода гармонизации интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО на этапе определения перечня нормативной документации

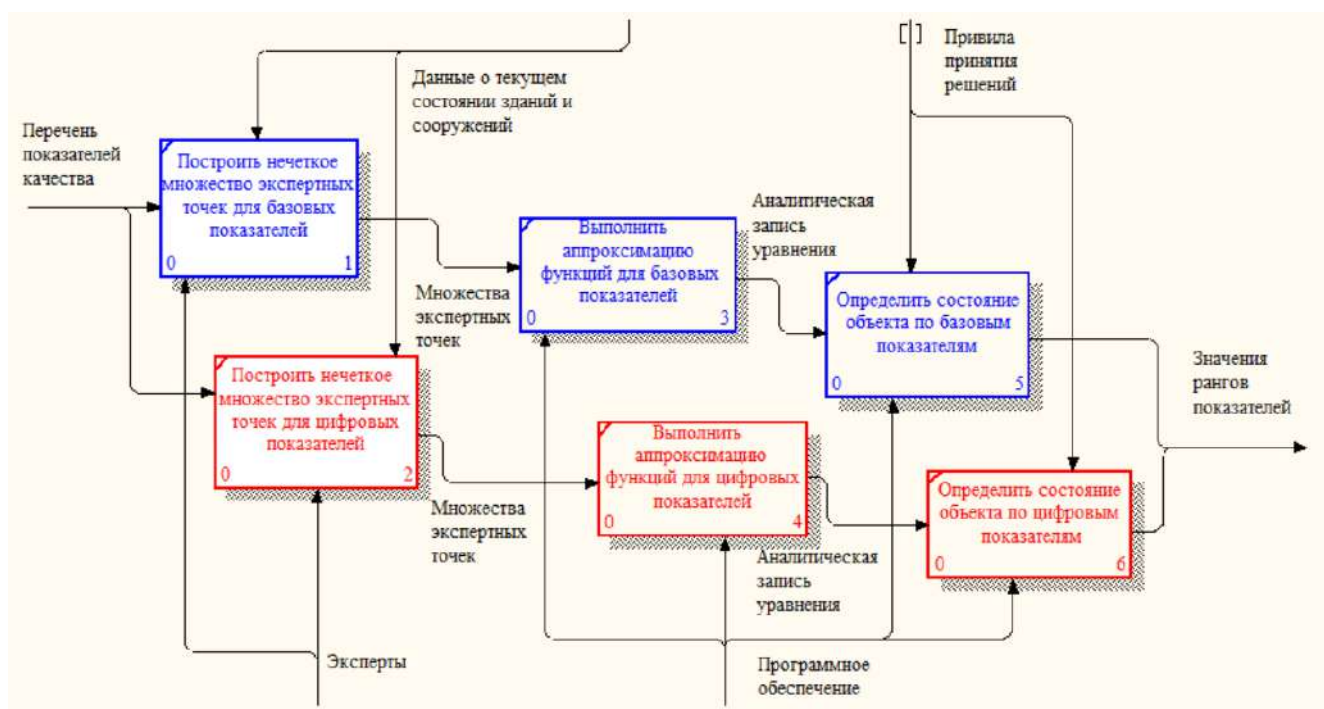
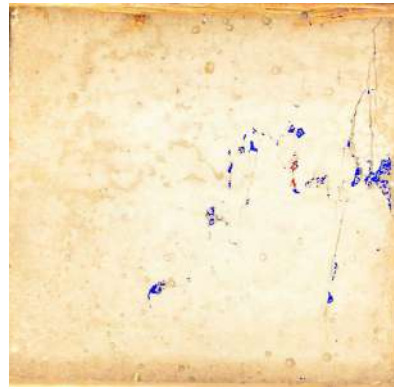


Рисунок Г.5 – Уровень декомпозиции А1.2.1 применения трехуровневого метода гармонизации интегративной оценки качества функционирования элементов ОПО на этапе построения нечетких множеств экспертных точек для базовых и цифровых показателей

Примеры кадров видеоряда с указанием точек разрушения бетона



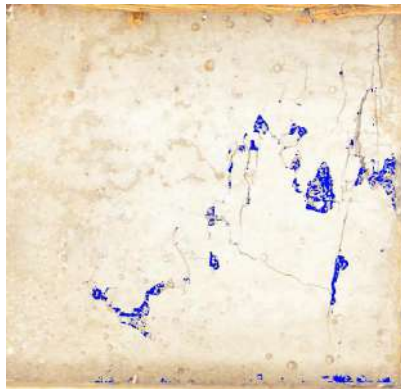
0:00



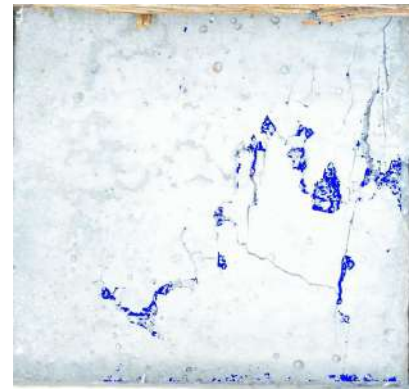
0:20



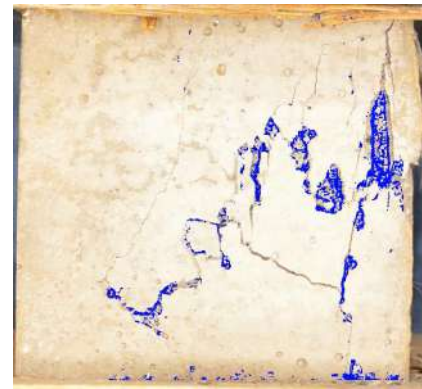
0:23



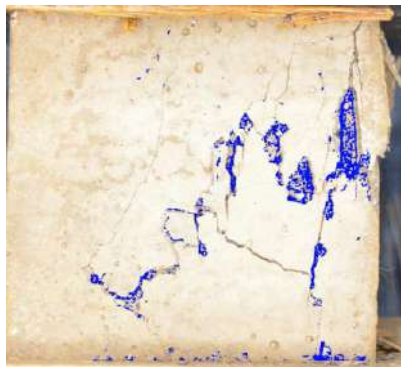
0:25



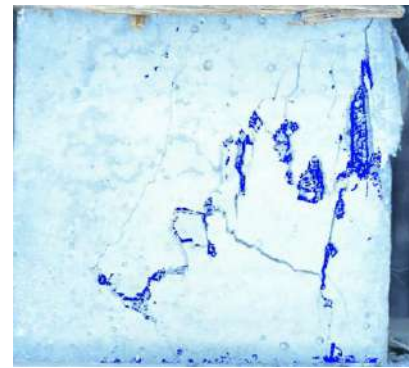
0:29



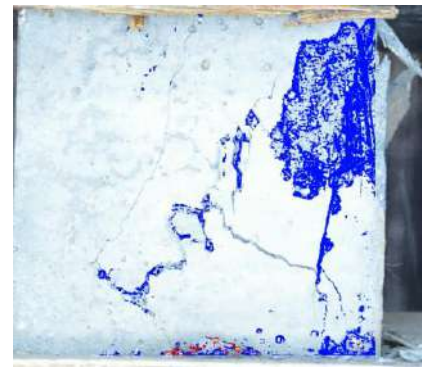
0:38



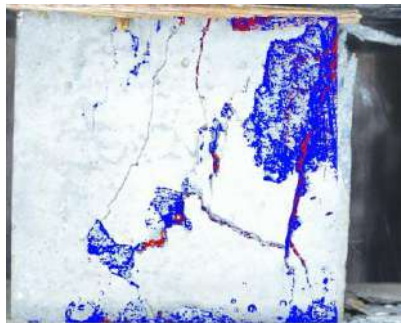
0:39



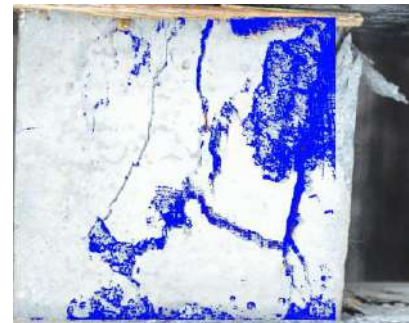
0:40



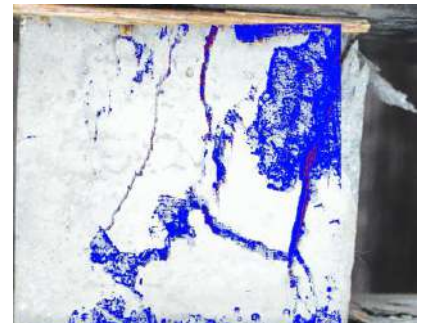
0:41



0:42



0:43



0:44

Рисунок Д.1 – Кадры видеоряда с точками разрушения на примере испытания лабораторного бетонного образца класса В40

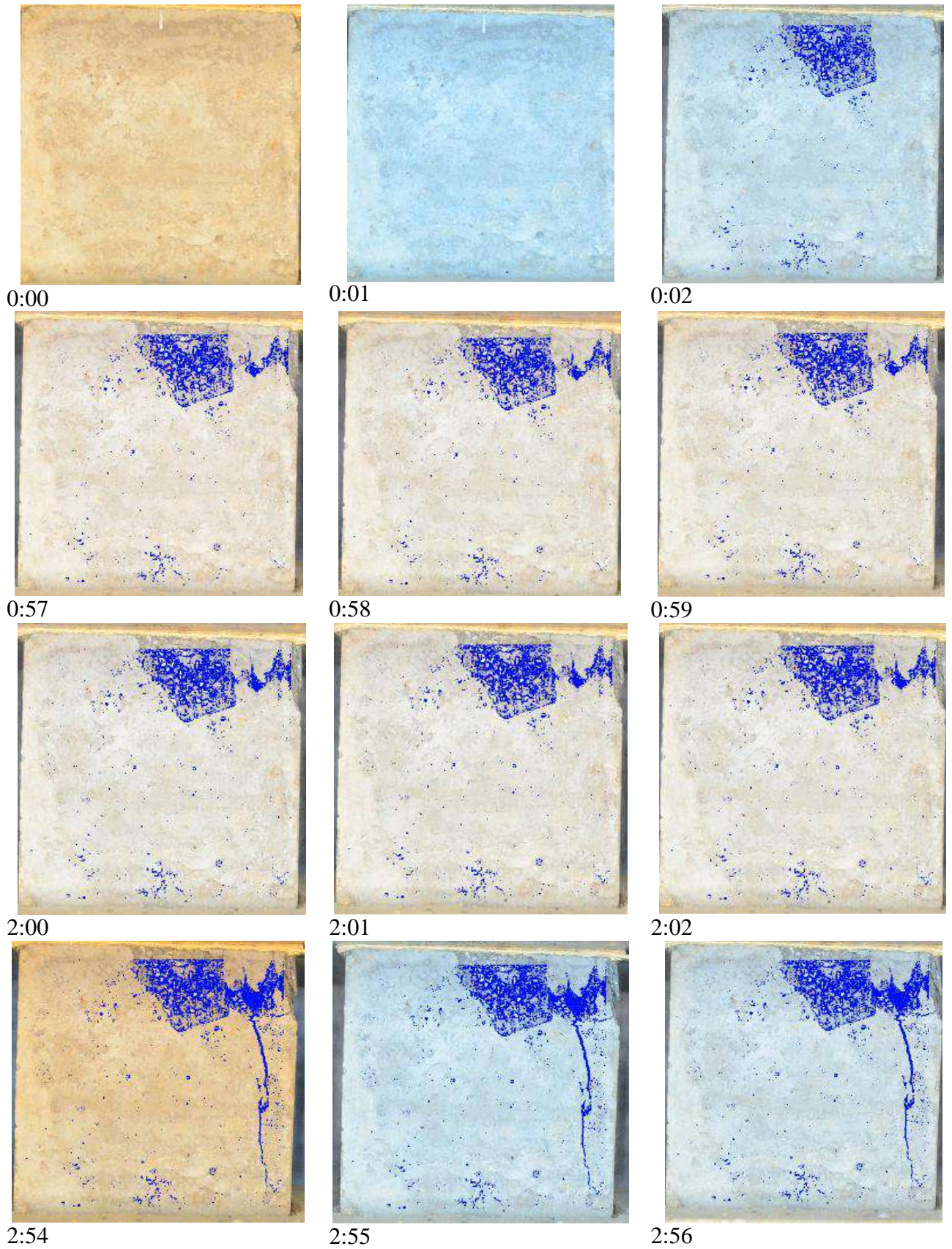


Рисунок Д.2 – Кадры видеоряда с точками разрушения на примере лабораторного бетонного образца класса В80

Примеры диаграмм с данными об общем количестве измененных пикселей и количестве измененных пикселей в текущем кадре

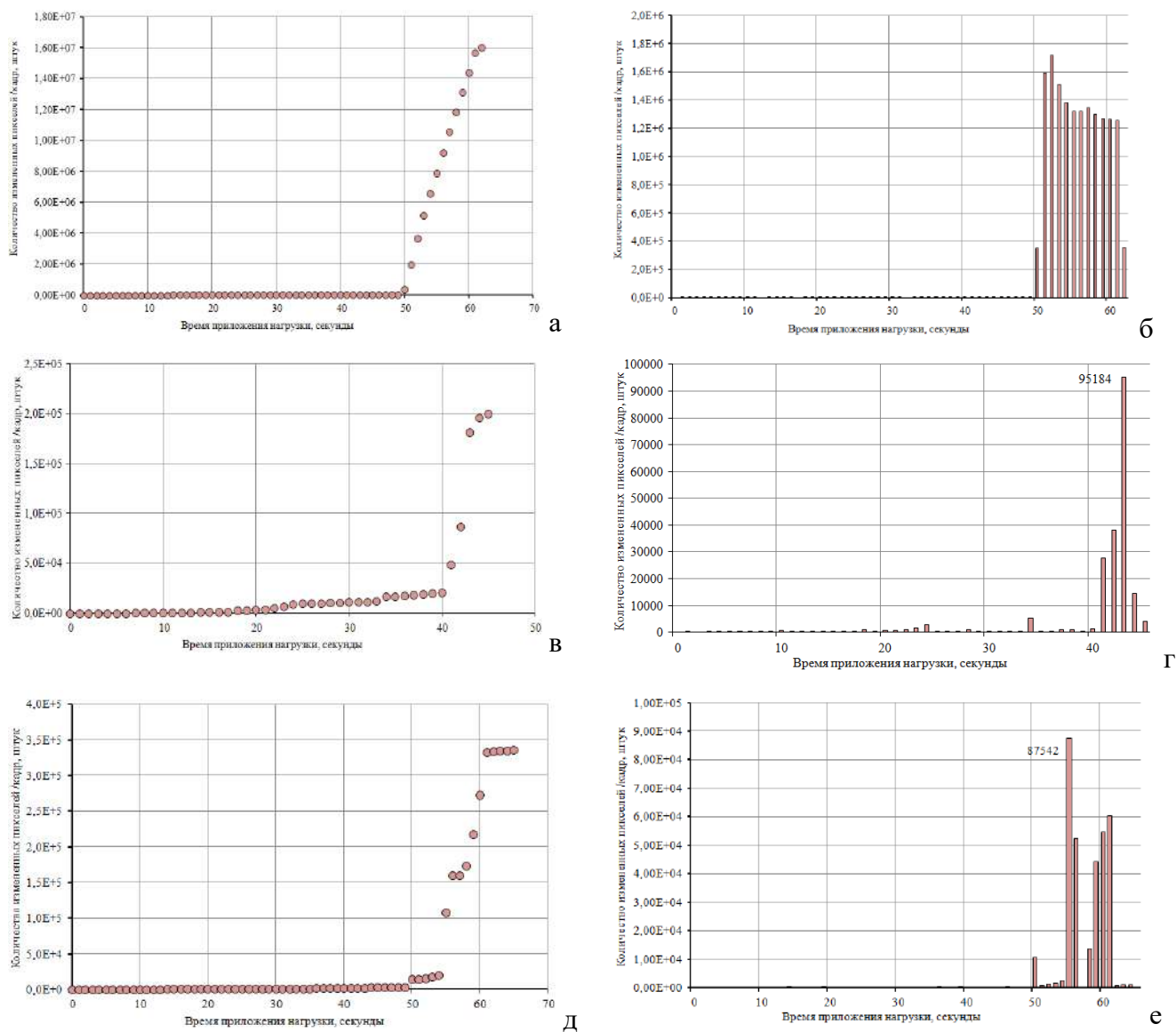


Рисунок Е – Диаграммы с усредненными данными об общем количестве измененных пикселей и количестве измененных пикселей в текущем кадре для образцов класса В80: а, б – по результатам испытаний образцов серии 1; в, г – по результатам испытаний образцов серии 1; д, е – по результатам испытаний образцов серии 3

Копии свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, патентов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019660512

Qualimetric Unit Quality Estimation

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU)**

Авторы: **Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Рубин Геннадий Шмульевич (RU), Гун Геннадий Семенович (RU), Ильина Елена Александровна (RU), Кузнецов Алексей Юрьевич (RU)**

Заявка № **2019619196**
Дата поступления **29 июля 2019 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **07 августа 2019 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020661483

Quality evaluation of high strength self-compacting concrete

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Ильина Елена Александровна (RU), Кузнецов Алексей Юрьевич (RU)*

Заявка № 2020660313

Дата поступления 14 сентября 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 24 сентября 2020 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев Г.П. Излиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020661627

Calculation of concrete mix components

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU),
Ильина Елена Александровна (RU)*

Заявка № 2020660348

Дата поступления 14 сентября 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 28 сентября 2020 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021665823

Automatic detection of frame differences at time points of a digital video stream

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Корниенко Владимир Дмитриевич (RU), Николаев Антон Андреевич (RU), Злыдарев Никита Витальевич (RU), Логунова Оксана Сергеевна (RU), Тюлюмов Александр Николаевич (RU)*

Заявка № 2021664993

Дата поступления 29 сентября 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 04 октября 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0x02A5CFBC00B1A3CF9A40A2F08692E9A118
Владелец: **Ивлиев Григорий Петрович**
Действителен с 15.01.2021 по 15.01.2035

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021665912

Automatic selection of destruction boundaries on digital images

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Корниенко Владимир Дмитриевич (RU), Николаев Антон Андреевич (RU), Злыдарев Никита Витальевич (RU), Логунова Оксана Сергеевна (RU), Тюлюмов Александр Николаевич (RU)*

Заявка № 2021665010

Дата поступления 29 сентября 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 05 октября 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0x02A5CFBC00B1A3CF9A40A2F08692E9A118
Владелец: **Ивлиев Григорий Петрович**
Действителен с 15.01.2021 по 15.01.2035

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021666037

Automatic detection of damage parameters from digital images

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Корниенко Владимир Дмитриевич (RU), Николаев Антон Андреевич (RU), Злыдарев Никита Витальевич (RU), Логунова Оксана Сергеевна (RU), Тюлюмов Александр Николаевич (RU)*

Заявка № 2021665102

Дата поступления 30 сентября 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 06 октября 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0x02A5CFBC00B1A3CF9A40A2F08692E9A118
Владелец: **Ивлиев Григорий Петрович**
Действителен с 15.01.2021 по 15.01.2035

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021666171

**Automatic completion and filling of forms with inaccurate
borders on digital images**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Корниенко Владимир Дмитриевич (RU), Николаев Антон Андреевич (RU), Злыдарев Никита Витальевич (RU), Логунова Оксана Сергеевна (RU), Тюлюмов Александр Николаевич (RU)*

Заявка № 2021665140

Дата поступления 30 сентября 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 08 октября 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0x02A5CFBC00B1A3CF9A40A2F08692E9A118
Владелец: **Ивлиев Григорий Петрович**
Действителен с 15.01.2021 по 15.01.2035

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021666066

Automated search for frame differences in a digital video stream

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Корниенко Владимир Дмитриевич (RU), Николаев Антон Андреевич (RU), Злыдарев Никита Витальевич (RU), Логунова Оксана Сергеевна (RU), Тюлюмов Александр Николаевич (RU)*

Заявка № 2021665120

Дата поступления **01 октября 2021 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **07 октября 2021 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0x02A5CFBC00B1A3CF9A40A2F08692E9A118
Владелец: **Ивлиев Григорий Петрович**
Действителен с 15.01.2021 по 15.01.2035

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021666151

**Automatic video comparison of the source and processed
digital video streams**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Корниенко Владимир Дмитриевич (RU), Николаев Антон Андреевич (RU), Злыдарев Никита Витальевич (RU), Логунова Оксана Сергеевна (RU), Тюлюмов Александр Николаевич (RU)*

Заявка № 2021665210

Дата поступления **01 октября 2021 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **08 октября 2021 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0x02A5CFBC00B1A3CF9A40A2F08692E9A118
Владелец: **Ивлиев Григорий Петрович**
Действителен с 15.01.2021 по 15.01.2035

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022611311

**Automatic integration of the digital video of the control
object with the damage video map**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Логунова Оксана
Сергеевна (RU), Николаев Антон Андреевич (RU)*

Заявка № 2022610211

Дата поступления 10 января 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 24 января 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0x75599c0003a5c378e439d83df819a6cd1
Владелец: **Ивлиев Григорий Петрович**
Действителен с 24.12.2021 по 24.12.2022

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022611443

Generating an array of grayscale images from a selected video file

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Николаев Антон Андреевич (RU), Логунова Оксана Сергеевна (RU), Дерябин Денис Исхакович (RU), Тюлюмов Александр Николаевич (RU), Луганская Дарья Алексеевна (RU), Чернышева Александра Сергеевна (RU)*

Заявка № 2022610030

Дата поступления 11 января 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 25 января 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0x75593C003A5C378E439D83DF819A6CD1
Владелец: **Ивлиев Григорий Петрович**
Действителен с 24.12.2021 по 24.12.2022

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022611489

**Automatic formation of a damage map in the selected area
of a digital video of the control object by calculating the
frame difference**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Лозунова Оксана
Сергеевна (RU), Николаев Антон Андреевич (RU), Корниенко
Владимир Дмитриевич (RU)*

Заявка № 2022610026

Дата поступления 11 января 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 26 января 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0x75593C003A5C378E439D83DF819A6CD1
Владелец: **Ивлиев Григорий Петрович**
Действителен с 24.12.2021 по 24.12.2022

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022611213

Universal library for working with digital images: asynchronous computation with image collections; the use of algorithms: blurring images, highlighting the boundaries of images, building skeletons of shapes on binarized images, determining the difference in colors and finding frame differences

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Логунова Оксана Сергеевна (RU), Николаев Антон Андреевич (RU), Чернышева Александра Сергеевна (RU), Дерябин Денис Исхакович (RU), Злыдарев Никита Витальевич (RU), Луганская Дарья Алексеевна (RU)*

Заявка № 2022610219

Дата поступления 12 января 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 21 января 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0x75593C003A5C378E439D83DF819A6CD1
Владелец: **Ивлиев Григорий Петрович**
Действителен с 24.12.2021 по 24.12.2022

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022615149

Automatic QR-code zone image cropper

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Корниенко Владимир Дмитриевич (RU), Николаев Антон Андреевич (RU), Чернышева Александра Сергеевна (RU), Логунова Оксана Сергеевна (RU), Дерябин Денис Исхакович (RU), Луганская Дарья Алексеевна (RU)*

Заявка № 2022614303

Дата поступления 24 марта 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 30 марта 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 68b50077e14e40f0a94e0bd24145d5c7
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 26.05.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022616419

Automatic video panorama former

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU)*

Авторы: *Наркевич Михаил Юрьевич (RU), Николаев Антон Андреевич (RU), Злыдарев Никита Витальевич (RU), Логунова Оксана Сергеевна (RU), Козлова Анна Евгеньевна (RU), Тюлюмов Александр Николаевич (RU), Корниенко Владимир Дмитриевич (RU)*

Заявка № 2022614440

Дата поступления 24 марта 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Ресстре программ для ЭВМ 08 апреля 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 68b80077e14e4010a54e6bd24145d6c7
Владелец, **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 26.05.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 116537

СТРОИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ В ВИДЕ СТОЙКИ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012100203

Приоритет полезной модели 10 января 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 мая 2012 г.

Срок действия патента истекает 10 января 2022 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



Копии актов об использовании результатов диссертационного исследования,
о внедрении в производственную деятельность и в учебный процесс

БЕЛМАГ

Современные автотехнологии

АО Научно-производственное объединение «БелМаг»
Россия, 455019, г. Магнитогорск, ул. Матросова, 1/1, стр. 4
Тел.: +7 (3519) 58-07-07, E-mail: inbox@belmag.ru
www.belmag.ru, www.belmag-technologies.com



09 декабря 2022 г.

АКТ

**об использовании результатов диссертационного исследования
Наркевича Михаила Юрьевича**

В рамках диссертационного исследования М.Ю. Наркевичем разработана и реализована методология и инструментарий создания и функционирования системы менеджмента качества металлургического предприятия, эксплуатирующего опасные производственные объекты.

При эксплуатации опасных производственных объектов на АО НПО «БелМаг» используются разработанные автором теоретические и практические результаты диссертационного исследования:

- структурная модель методологии и инструментарий создания и функционирования системы менеджмента качества металлургического предприятия;
- модель системы менеджмента качества опасного производственного объекта, включающая процессы управления качеством и позволяющая рассматривать элементы опасных производственных объектов как ключевые элементы инфраструктуры предприятия, оказывающие влияние на качество продукции;
- адаптивная процессная модель системы менеджмента качества, включающая процессы управления качеством на предприятии, эксплуатирующем опасные производственные объекты, с возможностью адаптации к изменению требований законодательства и заказчика;
- комплексный инструментарий для мониторинга, оценки и повышения качества функционирования элементов опасных производственных объектов металлургического предприятия на основе трехуровневого метода интегративной оценки качества;
- цифровой инструментарий для мониторинга, оценки и повышения качества функционирования элементов опасных производственных объектов металлургического предприятия на основе прикладной цифровой платформы;
- метод интегративной оценки качества функционирования элементов опасных производственных объектов, предусматривающий встраивание в систему оценки групп базовых и цифровых показателей качества, а также реализацию принципа суперпозиции и квалиметрический подход, обеспечивающий представление оценки качества с учетом приоритетности факторов функционирования элементов опасных производственных объектов;
- механизм трансформации инструментов подсистемы экспертной оценки качества функционирования элементов опасных производственных объектов.

С практической точки зрения использование результатов диссертационного исследования, содержащихся в диссертационной работе М.Ю. Наркевича, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства, на тему: «Методология и инструментарий создания и функционирования системы менеджмента качества на металлургических предприятиях, эксплуатирующих опасные производственные объекты» позволило повысить результативность функционирования процессов управления качеством на АО НПО «БелМаг» на основе использования предложенной методологии и инструментария создания и внедрения системы менеджмента качества опасных производственных объектов.

Экономический эффект от использования приведенных результатов диссертационных исследований за 2022 г. составил 3,6 млн рублей.

Генеральный директор
АО НПО «БелМаг», д.т.н.



И.Г. Гун

www.belmag.ru

МЕТАЛЛУРГМАШ
Инжиниринг



METALLURGMASH
Engineering

109428, г. Москва, Рязанский пр-т, д. 8А, стр.1.
Бизнес-центр «Рязанский», оф. 602

Тел.: (495) 937-01-26
E-mail: info@metmashengineering.ru
www.metmashengineering.ru

Business-center «Ryazanskiy», of. 602, Ryazanskiy prospect, 8A, bld.1,
Moscow, Russia, 109428

Tel.: +7 495 937-01-26
E-mail: info@metmashengineering.ru
www.metmashengineering.com

от 04.03.2022 г.

АКТ № 017

об использовании результатов диссертационного исследования Наркевича Михаила Юрьевича

Настоящим подтверждается, что результаты диссертационной работы Наркевича Михаила Юрьевича, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции, использованы в практической деятельности ООО «МЕТАЛЛУРГМАШ Инжиниринг» при проведении технического аудита металлургических предприятий: ПАО «Челябинский трубопрокатный завод» (включая ТЭСЦ №3 «Высота 239»), АО «Первоуральский новотрубный завод», АО «Волжский трубный завод», АО «Уральская сталь».

К результатам диссертационного исследования, представляющими несомненный практический интерес, относятся: разработанный трехуровневый метод интегративной оценки качества элементов опасных производственных объектов металлургического предприятия, рекомендации по построению функции принадлежности, структура лингвистической переменной, правила нечеткого вывода, а также рекомендации по трансформации системы управления производственным контролем качества элементов опасных производственных объектов на металлургическом предприятии.

Применение указанных результатов диссертационного исследования в значительной степени упрощает процедуру принятия решения собственником предприятия касательно распоряжения материальными активами. Такой подход во многом повышает результативность технического аудита промышленных предприятий. Экономический эффект от использования приведенных диссертационных исследований за период с 01.02.2021 г. по 18.01.2022 г. составил 14,2 млн рублей.

Генеральный директор



В.А. Мещерин

Черновол А.В.
+7 910 701 57 56
a.chernovol@metmashengineering.ru



Акционерное общество
"Магнитогорский институт по проектированию
металлургических заводов"



АО "МАГНИТОГОРСКИЙ ГИПРОМЕЗ"

Пр. ЛЕНИНА, 68, г. МАГНИТОГОРСК, ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ, 455044
Телефон (3519) 26-07-21 Факс (3519) 28-92-12 E-mail: office@gipromez-mg.ru www.gipromez-mg.ru



ОТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

Ю.А. Тверской, к.т.н.

2022 г.

АКТ № 44/Н

о внедрении результатов диссертационного исследования Наркевича Михаила Юрьевича

АО «МАГНИТОГОРСКИЙ ГИПРОМЕЗ» обеспечивает комплексное решение поставленных задач с учетом требований заказчика и применением новейших технологий и материалов в таких областях промышленности, как: металлургическое производство, коксохимическое производство, газовое хозяйство, горнорудное производство и т.д.

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационного исследования Наркевича Михаила Юрьевича, полученные при подготовке диссертации, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции внедрены в деятельность АО «МАГНИТОГОРСКИЙ ГИПРОМЕЗ» при осуществлении услуг по экспертизе промышленной безопасности технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах металлургических предприятий Российской Федерации.

При формировании выводов о соответствии объектов экспертизы обязательным требованиям промышленной безопасности в соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» 20 июня 1997 г. и Федеральными нормами и правилами «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», утверждёнными приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 октября 2020 г. № 420, применялся предложенный трехуровневый метод гармонизации интегративной оценки качества элементов опасных производственных объектов, позволивший исключить влияние человеческого фактора на результат экспертной оценки.

Разработанные в рамках диссертационного исследования алгоритмы программных модулей для новых инструментов прикладной цифровой платформы позволяют реализовать функции предварительной обработки изображений, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата, сформировать карты разрушения поверхности элементов опасных производственных объектов, сравнения состояний технических устройств, зданий и сооружений в динамике на основе набора цифровых теней.

Внедрение указанных результатов диссертационного исследования в деятельность АО «МАГНИТОГОРСКИЙ ГИПРОМЕЗ» позволило повысить результативность экспертной оценки качества при оказании услуг в области экспертизы промышленной безопасности.

Главный инженер проектов
АО «МАГНИТОГОРСКИЙ ГИПРОМЕЗ»

А.А. Толдин



125047, г. Москва, пер. Тверской-Ямской 1-й, д. 18, помещение 32, этаж 3
 Почтовый адрес: 455000, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 32, а/я 56
 тел./факс. (3519) 49-67-67, (3519) 22-12-51, e-mail: tehnoguarant@mail.ru, office@t-garant.ru ИНН/КПП 7446058716/771001001

АКТ № 01 от 06 декабря 2022 г. внедрения результатов диссертационного исследования

Настоящим подтверждается, что результаты диссертационной работы Наркевича Михаила Юрьевича на тему: «Методология и инструментарий создания и функционирования системы менеджмента качества на металлургических предприятиях, эксплуатирующих опасные производственные объекты» по научной специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства, внедрены в деятельность ООО «ТехноГарант» при оказании услуг по экспертной оценке качества технических устройств, зданий и сооружений, эксплуатируемых на опасных производственных объектах металлургических предприятий Российской Федерации: ПАО «Челябинский металлургический комбинат», АО «Благовещенский арматурный завод», АО «Омутнинский металлургический завод».

Разработанный трехуровневый метод интегративной оценки качества функционирования элементов опасных производственных объектов использован в качестве основы для принятия решений экспертами при формировании выводов о соответствии объектов экспертизы обязательным требованиям промышленной безопасности в соответствии с Федеральными нормами и правилами «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», утверждёнными приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20.10.2020 г. № 420.

При реализации трехуровневого метода интегративной оценки качества функционирования технических устройств, зданий и сооружений, эксплуатируемых на опасных производственных объектах указанных металлургических предприятий, использована разработанная прикладная цифровая платформа, включающая десять программных модулей для оценки текущего и будущего состояния элементов опасного производственного объекта.

При проведении экспертной оценки качества указанных объектов использовались беспилотные летательные аппараты, движущиеся по заданной траектории и осуществляющие сбор исходной информации в форме фото и видео режимов.

Внедрение указанных результатов диссертационного исследования позволило повысить конкурентоспособность ООО «ТехноГарант» при выборе исполнителя в ходе конкурсного отбора заказчика, а также снизить влияние человеческого фактора на результаты экспертной оценки; повысить результативность экспертной оценки качества при оказании услуг в области экспертизы промышленной безопасности.

Результаты внедрения комплекса цифрового инструментария показали снижение затрат при проведении экспертизы элементов опасных производственных объектов на 30%. Предполагаемый экономический эффект при комплексном внедрении результатов диссертационного исследования может составить около 16 000 000 (шестнадцати миллионов) рублей за период 2021-2022 гг.

Генеральный директор ООО «ТехноГарант»

Е.А. Шишлонов



СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ООО «ТЕХНОГАРАНТ» СООТВЕТСТВУЕТ
 ТРЕБОВАНИЯМ МЕЖДУНАРОДНОГО СТАНДАРТА ISO 9001:2015





Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)

«Научно-исследовательский институт промышленной безопасности»
(НИИ «Промбезопасность»)
455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Телефон: +7 (3519) 29-84-02 Факс: +7 (3519) 23-92-35 e-mail: mgtu@magtu.ru
ИНН 7414002238, КПП 745601001 ОГРН 1027402065437



Утверждаю:

Зам. директора по экспертизе

НИИ «Промбезопасность»

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»



В.Д. Корниенко

2022 г.

АКТ № Н-27/22

внедрения результатов диссертационного исследования

Наркевича Михаила Юрьевича

Научно-исследовательский институт «Промбезопасность» ведёт свою деятельность, в том числе, и на производственных площадках горно-металлургического сектора отечественной экономики. Работы института связаны с задачами экспертной оценки качества на опасных производственных объектах. НИИ «Промбезопасность» действует на основании лицензии, выданной Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), на деятельность по проведению экспертизы промышленной безопасности № ДЭ-00-017822 от 27.01.2021 г. Специалисты института обладают высокой квалификацией и опытом как в области оценки соответствия требованиям стандартов, так и в вопросах научных исследований в области обеспечения безопасности на производстве.

Тема, заявленная в диссертационной работе Наркевича М.Ю., является актуальной и представляет практический интерес с точки зрения повышения результативности услуг по экспертной оценке и снижения количества аварий и инцидентов на металлургических предприятиях за счёт внедрения комплексного системного подхода к экспертной оценке качества на опасных производственных объектах.

Степень проработанности материала, представленного Наркевичем М.Ю. в диссертации, а также уровень его апробирования и опробования, свидетельствует, в том числе, и о высокой квалификации автора в вопросах затронутой проблематики научного исследования.

Результаты диссертационных исследований Наркевича М.Ю. использованы при выполнении научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы «Разработка и применение методик контроля территорий, зданий и сооружений ПАО «ММК» с использованием беспилотных воздушных судов (БВС)» по договору № 247715 от 05.07.2021 г. между ПАО «ММК» и ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»:

- внедрена концепция трехуровневого экспериментального исследования качества элементов опасных производственных объектов, отличающаяся последовательным включением пилотных объектов, материалов конструкций и новых инструментов прикладной цифровой платформы;
- применен трехуровневый метод гармонизации интегративной оценки качества элементов опасных производственных объектов как основа для принятия решений экспертами в нечетких условиях;
- использована структура прикладной цифровой платформы для экспертной оценки качества элементов опасных производственных объектов;
- внедрена информационная модель для оценки текущего технического состояния и динамики качества элементов опасных производственных объектов.

Таким образом, результаты диссертационной работы Наркевича Михаила Юрьевича, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции, использованы при решении конкретных практических задач.

Председатель комиссии

Члены комиссии

 А.И. Сагадатов

 И.П. Зайцев

 Ю.В. Сомова

МЕТАЛЛУРГМАШ
Инжиниринг



METALLURGMASH
Engineering

109428, г. Москва, Рязанский пр-т, д. 8А, стр.1.
Бизнес-центр «Рязанский», оф.602

Тел.: (495) 937-01-26
E-mail: info@metmashengineering.ru
www.metmashengineering.ru

Business-center «Ryazanskiy», of. 602, Ryazanskiy prospect, 8A, bld.1,
Moscow, Russia, 109428

Tel.: +7 495 937-01-26
E-mail: info@metmashengineering.ru
www.metmashengineering.com

от 23.03.2021 г.

АКТ № 011

об использования результатов диссертационного исследования Наркевича Михаила Юрьевича

Настоящим подтверждается, что результаты диссертационной работы Наркевича Михаила Юрьевича, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.23 «Стандартизация и управление качеством продукции», рекомендованы к практическому использованию в деятельности Общества с ограниченной ответственностью (ООО) «МЕТАЛЛУРГМАШ Инжиниринг» при оценке качества зданий и сооружений на опасных производственных объектах, определяемой в рамках проводимого технического аудита промышленных предприятий различного назначения.

Разработанные математические модели позволяют определять комплексный показатель качества зданий и сооружений на опасных производственных объектах, характеризующий такие их свойства, как: механическую безопасность, эксплуатационные экономические показатели, долговечность и др.

К результатам диссертационного исследования, представляющими несомненный практический интерес, относится разработанный метод определения комплексного показателя качества зданий и сооружений на опасных производственных объектах, что в значительной степени упрощает процедуру принятия решения собственником предприятия касательно распоряжения материальными активами. Такой подход во многом повышает результативность технического аудита промышленных предприятий различного назначения в части разработки рекомендаций для Заказчика.

Генеральный директор



В.А. Мещерин

Черновол А.В.
+7 910 701 57 56
a.chernovol@metmashengineering.ru

- подготовлено 17 докладов для выступления на национальных и международных научных конференциях;
- опубликовано 25 научных статей по тематике диссертационного исследования;
- получено три гранта на проведение научных исследований;
- защищено более 30 выпускных квалификационных работ по тематике диссертационного исследования;
- зарегистрировано 15 программных продуктов в реестре программ для ЭВМ и один патент на полезную модель, зарегистрированный в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации;
- получен диплом за 1 место на Международном конкурсе «Макаронный строитель» в номинации «Сооружения с наибольшим пролетом. Мосты», Санкт-Петербург, 2019 г.

В полном списке учебно-методических работ Наркевича М.Ю. с 2007 по 2022 гг. 12 изданий, среди них:

- 1) Наркевич, М. Ю. Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества / М. Ю. Наркевич. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2012. – 136 с. – ISBN 978-5-9967-0311-1 (с Грифом Уральского отделения Учебно-методического объединения ВУЗов РФ по образованию в области строительства, выписка из протокола заседания Президиума № 1 от 22.03.2012 г.), допущенное уральским отделением Учебно-методического объединения вузов РФ по образованию в области строительства в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавриата 270800.62 – «Строительство» всех форм обучения;
- 2) Наркевич, М. Ю. Стандартизация и сертификация продукции конструкций / М. Ю. Наркевич. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2012. – 83 с. – ISBN 978-5-9967-0309-8. – EDN RREELL;

3) Наркевич, М. Ю. Конструкции городских сооружений и зданий / М. Ю. Наркевич, С. А. Ницета. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный университет, 2012. – 172 с. – ISBN 978-5-9967-0310-4 (с Грифом Уральского отделения Учебно-методического объединения ВУЗов РФ по образованию в области строительства, выписка из протокола заседания Президиума № 2 от 20.06.2012 г.), допущенное уральским отделением Учебно-методического объединения вузов РФ по образованию в области строительства в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавриата 270800.62 – «Строительство» всех форм обучения;

4) Наркевич, М. Ю. Расчет и проектирование строительных металлических конструкций / М. Ю. Наркевич, С. А. Ницета, О. В. Емельянов. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2013. – 176 с. – ISBN 978-5-9967-0360-9 (с Грифом Уральского отделения Учебно-методического объединения ВУЗов РФ по образованию в области строительства, выписка из протокола заседания Президиума № 1 от 27.03.2013 г.), допущенное уральским отделением Учебно-методического объединения вузов РФ по образованию в области строительства в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавриата 270800.62 – «Строительство» всех форм обучения;


5) Наркевич, М. Ю. Конструкции городских сооружений и гражданских зданий : Электронное издание / М. Ю. Наркевич, С. А. Ницета. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2017. – 39 с. – EDN YWMOEM;

6) Системы учета и поиска научной информации / О. С. Логунова, Е. А. Ильина, В. С. Великанов, М. Ю. Наркевич. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2022. – 57 с. – ISBN 978-5-9967-2389-8. – EDN FHSKTY.

Использование указанных результатов позволяет повысить качество подготовки выпускников высших учебных заведений, развивает их эвристическое мышление, мотивирует к самостоятельной и творческой работе в профессиональной деятельности.

Председатель комиссии:

Заместитель директора института
строительства, архитектуры и искусства
по учебной работе, заведующий
кафедрой урбанистики и инженерных
систем, канд. техн. наук


_____ М.М. Суровцов

Члены комиссии:

Заведующий кафедрой вычислитель-
ной техники и программирования,
профессор, д-р техн. наук


_____ О.С. Логунова

Заместитель директора института
строительства, архитектуры и искусства
по методической работе, доцент,
канд. пед. наук


_____ Е.А. Ильина

Лицо подписавшее заверяю
подпись отделе кадров
ФГБОУ ВО «МГУ им. Г.И. Носова»
15 ноября 2022 г.

