

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»



На правах рукописи

НАМ ГАЛИНА ЕВГЕНЬЕВНА

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА
СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ
ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

2.10.3 – Безопасность труда

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат биологических наук, доцент,
Горбунова Ольга Владимировна

Санкт-Петербург

2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	12
1.1. Обзор современной организации безопасного труда в строительной отрасли	12
1.2. Анализ действующей системы контроля безопасности труда в строительной отрасли.....	18
1.3. Обзор результатов исследований по интеграции технологий информационного моделирования и системы контроля безопасности труда.	23
1.4. Постановка задач исследования.....	28
Выводы по главе.....	31
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТИМ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА	33
2.1. Исследование системы контроля уровня безопасности труда на примере ГК «Эталон»	35
2.2. Определение критериев для усовершенствованной системы контроля за уровнем безопасности труда на строительной площадке.....	41
2.3. Разработка математической модели системы контроля безопасности труда на строительной площадке с учетом динамики производства работ	48
2.4. Разработка алгоритма принятия решений для устранения несоответствий требованиям законодательства в области безопасности труда	68
2.5. Создание цифрового двойника объекта строительства в целях принятия решений об организации предупредительных мер в области безопасности труда	75
Выводы по главе.....	90
ГЛАВА 3. ОПЫТНОЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА	91
3.1. Оценка практического применения алгоритма принятия решений	91
3.2. Оценка экономической эффективности предотвращенного ущерба от негативных последствий	97
3.3. Расчет срока окупаемости от внедрения цифровой системы контроля безопасности труда	101

Выводы по 3-й главе	103
ГЛАВА 4. АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	105
4.1. Внедрение результатов исследования в систему мониторинга ГК «Эталон».....	105
4.2. Внедрение результатов исследования в образовательный процесс СПбГАСУ	113
Выводы по 4-й главе	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	118
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ДЕРЕВО ОТКАЗОВ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА.....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ	134

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Сегодня цифровая трансформация является неотъемлемой частью всех отраслей как во всем мире, так и Российской Федерации [1]. В свете формирования стратегий и программ по цифровой трансформации в строительной отрасли наблюдается растущая тенденция к исследованиям и применению инновационных подходов.

Правительство Российской Федерации активно поддерживает и стимулирует внедрение информационных технологий в различные отрасли экономики, в том числе строительную в рамках программы «Цифровая экономика РФ». В соответствии с изменениями статьи 48 Градостроительного Кодекса РФ [2] начался ускоренный переход на работу в цифровой среде. Следующим шагом, для решения проблем в строительной отрасли, стала подготовка новой Стратегии «Агрессивное развитие инфраструктуры» РФ до 2030 года. Основная цель Стратегии заключается в создании необходимых условий для устойчивого социально-экономического развития страны путем внедрения современных инструментов и средств технического регулирования. Другими словами, Стратегия направлена на достижение национальных целей и задач, установленных Президентом РФ, используя инновационные решения [3].

Успешное управление организационными и технологическими процессами в строительстве зависит от объективной информации, знаний о составе и состоянии процессов, состоянии и структуры здания, производительности, рисках, стоимости и т.д. Работодатель должен иметь возможность идентифицировать, анализировать, структурировать поступающую информацию и управлять ею. Для такого подхода необходима разработка единой информационной системы контроля за уровнем безопасности труда как основы для сопровождения и совместного использования структурированной информации о текущем состоянии безопасности на объекте строительства и его участниках с использованием технологий информационного моделирования (далее – ТИМ) и цифрового двойника (далее – ЦД).

По данным Роструда в 2023 году в результате несчастных случаев на производстве пострадало 3543 человек с тяжелыми последствиями и 1609 человек со смертельным исходом. 15,6 % несчастных случаев с тяжелыми последствиями и 20 % со смертельным исходом произошли в строительной отрасли [4].

Несмотря на предпринимаемые меры по повышению безопасности труда, строительная отрасль по-прежнему сталкивается с проблемами управления, связанными с неэффективностью мониторинга и контроля за условиями безопасности труда без соответствующей технологической поддержки.

В рассмотренных зарубежных исследованиях описаны возможности применения ТИМ, например, для контроля за выполнением работ по строительству объекта с учетом соблюдения сроков календарного плана строительства [5-6]. Следует отметить, что сделаны отдельные попытки авторов показать возможность применения ТИМ для повышения эффективности системы управления безопасностью труда [7-10]. Проведенный ретроспективный анализ данных публикаций показал, что за последние 5 лет ТИМ применяется в основном для контроля за строительными процессами [11].

Отечественные исследования рассматривают попытки применить ТИМ в целях контроля за состоянием условий и безопасности труда, однако, только лишь для централизованного внесения информации – документов, фотографий, видео и проч. в цифровую модель строящегося объекта, для удобства контроля, который носит прежний «запаздывающий» характер, а именно фото-видеофиксация нарушений по факту, замеченных в ходе обхода ответственным работником за охрану труда на строительной площадке [12, 13]. Но некоторые исследования направлены на автоматизированный процесс контроля за состоянием безопасности труда в реальном времени [14, 15]. Тем не менее, они носят фрагментарный характер и не описывают общее состояние уровня безопасности на строительной площадке [16].

На сегодняшний день использование ТИМ в вопросах безопасности труда ограничивается статичной документацией, занесенной в информационную модель, которая, в процессе строительства объекта, частично или полностью

устаревают. В дальнейшем использование такой информации приводит к несчастным случаям, авариям и инцидентам. Поэтому с помощью таких технологий, как ЦД, возможно реализовать весь потенциал инженерно-технических данных объекта строительства, постоянно обновлять цифровой контекст, используя обмен данными в реальном времени, что позволит своевременно распознавать опасности и даст время на реализацию превентивных мероприятий. [17].

Современные технологии информационного моделирования позволяют выполнить компоновку и проектирование строительных объектов в объемном виде с учетом всех ограничений и требований производственного процесса, а также требований безопасности. С их помощью можно создавать проектную модель той или иной установки и правильно размещать на ней технологические и технические компоненты без противоречий и коллизий [18].

В настоящее время результаты такого контроля достигаются на основе ручного труда, который является субъективным, недостоверным из-за квалификации специалиста и требующим значительных временных затрат [15].

Степень разработанности темы исследования. Сегодня ведутся активные исследования в вопросах интеграции ТИМ и безопасности труда, результаты которых рассмотрены в работах отечественных авторов В. В. Шарманова, М. А. Романовича, Т. Л. Симанкиной, А. А. Агапова, В. Г. Веселкова, Р. С. Пярина, В. В. Зиновьева, С. Ю. Неклюдова, Н. А. Поляковой, Е. В. Троценко.

Зарубежные исследования в области применения ТИМ в обеспечении безопасности труда представлены в работах R. Oliveira Rey, D. Jones, C. Snider, Z. Liu, K. Xie, A. E. Oke и др.

Исследования и разработки авторов внесли большой вклад в развитие и совершенствование организации безопасного труда в строительной отрасли. Однако до сих пор не существует единой концепции интеграции системы управления безопасности труда в процессе строительства с применением ТИМ. Повышение эффективности функционирования системы управления

безопасностью труда с применением ТИМ является необходимостью в современном мире, что определило выбор темы, формулировку цели и задач диссертационного исследования.

Научная гипотеза исследования заключается в том, что внедрение технологий информационного моделирования на основе цифрового двойника служит основой для создания превентивной системы контроля безопасности труда для снижения времени реагирования на отклонения значений безопасности труда от допустимых и, как следствие, травматизма на строительной площадке.

Цель и задачи диссертационного исследования. Целью диссертационного исследования является обоснование применения ТИМ для создания цифровой системы контроля безопасности труда на строительной площадке и предупредительной (превентивной) сигнализации об опасностях.

Задачи исследования. Поставленная цель определила необходимость решения следующих задач:

1. Выбор и обоснование критериев для оценки уровня безопасности труда на строительной площадке.
2. Разработка математической модели системы информационной поддержки принятия решений для контроля безопасности труда на строительной площадке с учетом динамики производства работ.
3. Разработка алгоритма функционирования цифровой системы контроля безопасности труда на строительной площадке.
4. Обоснование применения цифрового двойника объекта строительства в целях создания предупредительной (превентивной) сигнализации об опасностях.
5. Оценка экономического обоснования эффективности и предотвращенного ущерба от внедрения разработанной цифровой системы контроля безопасности труда с применением ТИМ.

Объект исследования. Система контроля безопасности труда для объектов гражданского строительства.

Предмет исследования. Организация цифровой системы контроля безопасности труда с применением ТИМ для сигнализации об опасностях на строительной площадке.

Научная новизна. Научная новизна диссертационного исследования:

1. Разработана математическая модель, демонстрирующая возможность принятия мер по опережающему управлению уровнем безопасности объекта.
2. Обосновано внедрение коэффициента опережающего предотвращения рисков ($K_{\text{опр}}$) в качестве показателя обеспечения безопасности труда на строительной площадке.
3. Разработан алгоритм функционирования цифровой системы контроля безопасности труда на строительной площадке.
4. Обоснована концепция применения цифрового двойника объекта строительства для организации системы контроля безопасности труда.

Теоретическая значимость. Теоретическая значимость работы заключается в:

- комплексном подходе оценки безопасности труда на строительной площадке на основе построенной математической модели для создания системы информационной поддержки принятия решений;
- создание теоретической основы для интеграции ТИМ в систему контроля безопасности труда.

Практическая значимость. Практическая значимость работы заключается в:

- разработке математической модели для системы информационной поддержки принятия решений в управлении безопасностью труда на объекте строительства;
- разработке алгоритма функционирования цифровой системы контроля безопасности труда с применением цифрового двойника для объекта строительства.

Методология и методы исследования базируются на научных и исследовательских трудах отечественных и зарубежных авторов в области безопасности строительного производства и охраны труда. В исследовании применялись методы научного поиска, методы моделирования, теория вероятности и теория нечетких множеств.

Основные положения, выносимые на защиту:

- математическая модель системы информационной поддержки принятия решений для контроля безопасности труда на строительной площадке;
- алгоритм функционирования цифровой системы контроля безопасности труда с применением цифрового двойника объекта строительства;
- концепция применения цифрового двойника объекта строительства для организации системы контроля безопасности труда.

Обоснованность и достоверность результатов исследований основывается на анализе существующих подходов контроля за уровнем безопасности труда в строительной отрасли с применением информационных технологий. Теоретические результаты разработанного алгоритма функционирования системы контроля на основе ТИМ подтверждены апробацией на строительной площадке и показали, что время реагирования на проявления опасных и вредных факторов производства существенно сократилось, тем самым, позволяет осуществлять превентивные мероприятия.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности:

3. Разработка методов и систем контроля, оценки и нормирования опасных и вредных факторов производства, автоматизированных систем сигнализации об опасностях.

7. Оценка эффективности функционирования систем управления охраной труда на предприятиях и разработка научно обоснованных подходов для ее повышения, создание информационных систем для автоматизации задач обеспечения безопасности труда.

Апробация работы. Основные положения и результаты научно-квалификационной работы были доложены на следующих научно-практических конференциях: III Международная, IV Всероссийская (с международным участием) научно-практическая конференция «Безопасность в строительстве» (СПбГАСУ, 2017, 2019); III Всероссийская конференция молодых ученых «ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА» (Севастополь, 2018); IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Актуальные проблемы охраны труда» (СПбГАСУ, 2018); 73-я, 75-я, 76-я научные конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета (СПбГАСУ, 2017, 2019, 2023), XII Международная конференция «Актуальные проблемы архитектуры и строительства» (СПбГАСУ, 2020), Всероссийская научно-практическая конференция «BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры» (СПбГАСУ, 2018), II и III Международные научно-практические конференции «BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры» (СПбГАСУ, 2019, 2020), Всероссийский инженерный конкурс (НИЯУ МИФИ, 2022), Национальная (всероссийская) научно-практическая конференция «Инженерные системы и городское хозяйство» (СПбГАСУ, 2023), Грант на выполнение научно-исследовательских работ НПР СПбГАСУ (СПбГАСУ, 2023, 2024), LXXVII, LXXVIII Международная научно-практическая конференция «Архитектура – Строительство – Транспорт – Экономика» (СПбГАСУ, 2023, 2024), III Национальная (всероссийская) научно-техническая конференция «Перспективы современного строительства» (СПбГАСУ, 2025).

Публикации. Основные результаты исследований по теме научно-квалификационной работы представлены в 9 статьях, опубликованных в научных журналах и сборниках трудов конференций, в том числе в 7 статьях, опубликованных в изданиях, рекомендуемых ВАК.

Личный вклад автора состоит в определении целей и задач исследования, анализе современных исследований применения ТИМ в вопросах охраны труда в строительстве, разработке математической модели оценивания состояния

системы контроля для создания условий эффективного и безопасного труда, создании рекомендаций быстрого реагирования для снижения негативных последствий на строительной площадке, анализе результатов внедрения цифровой системы контроля на основе применения ЦД.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка используемых источников и приложения. Научное исследование изложено на 136 страницах, содержит 9 таблиц, 30 рисунков. Список литературы включает 128 источников.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

1.1. Обзор современной организации безопасного труда в строительной отрасли

Основой безопасного труда организации и производственных процессов, а также «способности организации предвидеть, подготавливаться, реагировать и адаптироваться к постепенным изменениям и внезапным дестабилизирующим событиям, чтобы выживать и процветать» является устойчивость предприятия [10]. Модель устойчивости организации в процессах безопасности труда и здоровья персонала, а также в других системах управления как качество и экология, сводится к трем основным элементам: надежности, людям и качеству продукта. Баланс этих элементов, который минимизирует продолжительность строительства, общую стоимость проекта и улучшает качество и имидж организации, может определить успех строительного проекта. Помимо правильного планирования и оценки рисков, необходимо учитывать неопределенность при реализации проекта, чтобы иметь представление о возможных проблемах и несоответствиях во времени реализации, стоимости и качестве конечного продукта.

Одной из составляющих устойчивости предприятия к меняющейся ситуационной обстановке и условиям является система управления безопасностью труда.

В соответствии со статьей 214 ТК РФ работодатель обязан обеспечить создание и функционирование системы управления охраной труда [20]. В международных стандартах ISO, взятых за основу в отечественном законодательстве, система управления безопасностью труда принимается аналогичной российской системе управления охраной труда (далее – СУОТ). СУОТ – это комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, устанавливающих политику и цели в области охраны труда у

конкретного работодателя и процедуры по достижению этих целей [19]. Управление безопасностью труда можно определить как «процесс реализации определенных функций безопасности», а систему управления безопасностью труда обычно определяют как «... процедуры управления, элементы и действия, направленные на улучшение показателей безопасности организации и внутри нее» [20, 21]. Также, управление безопасностью строительства — это процесс управления правилами, практиками и процедурами безопасности на строительной площадке [22].

Система управления безопасностью труда – это комплексный подход к управлению элементами безопасности труда в строительстве, основной целью которой является:

- распознавание и понимание реальных или потенциальных опасностей и связанных с ними рисков;
- для предотвращения или контроля опасностей;
- обучение сотрудников организации для понимания важности устранения потенциальных опасностей, которым они могут регулярно подвергаться, а также способам защиты себя и других.

Уникальность строительства заключается в его опасном характере и сложности из-за комплекса строительных работ, состоящих из большого количества технологических процессов в меняющихся условиях и интенсивного использования техники, оборудования и инструментов. Рабочий персонал подвергается воздействию опасных и вредных производственных факторов, например, падение с высоты, падение предметов с высоты, застревание частей тела и травмы от движущихся частей строительной техники и механизмов на объектах, что часто приводит к несчастным случаям. Таким образом, строительная отрасль является наиболее опасной для здоровья и жизни персонала, что влияет на производительность, которая традиционно измеряется параметрами стоимости, качества и времени [23]. Неспособность моделировать риски в области безопасного труда приводит также к инцидентам, которые в конечном итоге снижают производительность предприятия.

Поэтому улучшение системы управления безопасностью труда является важной и необходимой задачей, поскольку несчастные случаи на строительной площадке сопровождаются простоями, огромными затратами и подрывают имидж организации.

Помимо экономических потерь, эта проблема также сопряжена с потерей незаменимых человеческих жизней, болезнями квалифицированных рабочих и огромными компенсационными расходами.

Традиционные методы управления безопасностью осуществляются на этапе подготовки к строительству [24]. Достижение повышения безопасности строительства на уровне проекта кажется несложным и теоретически может быть достигнуто с помощью хорошо известных мер, таких как обучение рабочих, строгое соблюдение инструкций по охране труда, правильное использование средств индивидуальной защиты и т.п. Однако на практике уровень эффективности системы управления безопасностью труда, от реализации таких мер, остается низким [25].

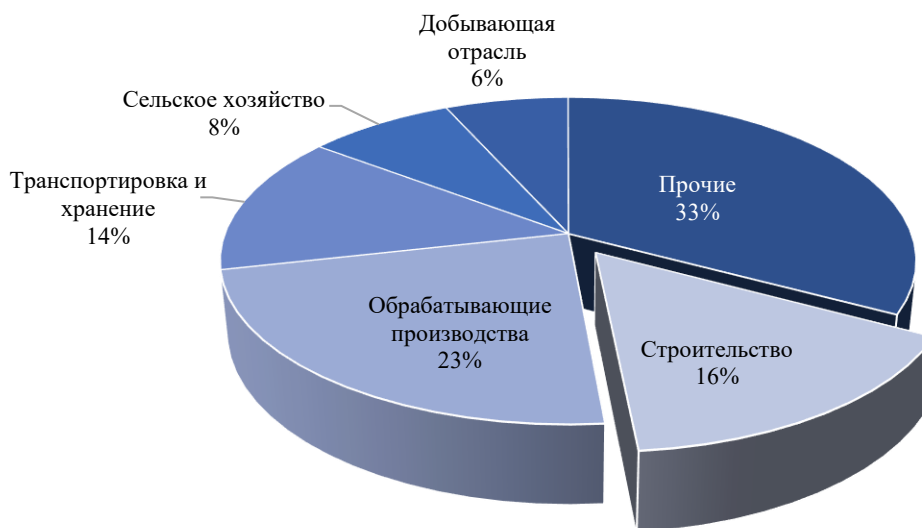


Рисунок 1.1 – Данные Роструда по производственному травматизму с тяжелыми последствиями по отраслям экономики за 2023 год [4]

Как видно из рисунка, по данным Роструда, в 2023 году в Российской Федерации всего зарегистрировано 5 491 групповых несчастных случаев, тяжелых несчастных случаев и несчастных случаев со смертельным исходом. Из них 16% несчастных случаев с тяжелыми последствиями приходится на обрабатывающие производства, строительство, транспортировку и хранение [4].

В общей структуре причин несчастных случаев на производстве с тяжелыми последствиями, произошедших в Российской Федерации в 2023 году, преобладают несчастные случаи, обусловленные причинами организационного характера и «человеческим фактором». Так, только по причине неудовлетворительной организации производства работ в 2023 году произошел практически каждый четвертый несчастный случай (22,6%); по причинам нарушения правил дорожного движения – 12,9%, нарушения технологического процесса – 8,7%, нарушения работниками трудового распорядка и дисциплины труда – 7,8% (рисунок 1.2) [4].

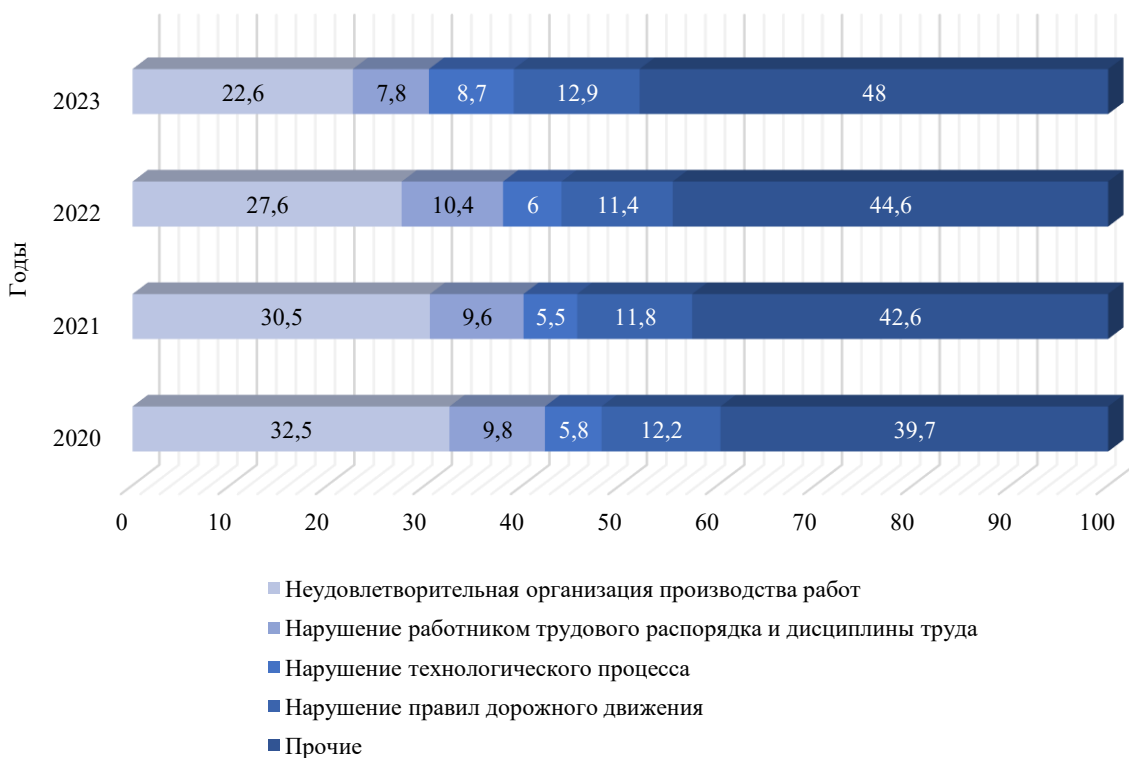


Рисунок 1.2 – Причины несчастных случаев с тяжелыми последствиями за 2020-2023 гг. [4]

Основная причина травматизма заключается в том, что планирование безопасности осуществляется на начальном этапе реализации проекта и не учитывает изменения условий труда в динамике, что, в конечном итоге, может привести к авариям на различных этапах строительства, как и в случае, когда опасности идентифицируются и оцениваются неполностью [24].

Традиционно опасные зоны определяются путем представления строительных процессов с помощью двухмерных чертежей, расчетов при проектировании, правил безопасности и опыта специалистов. Большое количество опасных зон остается незамеченным из-за уникальности, динамизма и сложности процессов на строительной площадке. Поскольку процесс строительства длится достаточно долго, разумно считать опасные зоны статичными лишь на коротких интервалах времени [26].

Еще одной причиной возникновения несчастных случаев является «запаздывающие» индикаторы. Для измерения уровня безопасности труда используется статистика произошедших аварий, инцидентов или производственных травм. Однако такие индикаторы представляют собой реактивный подход к измерению управления безопасностью труда и измеряют события или результаты, которые уже произошли [27]. Это показатели отражают последствия ранее осуществленных действий и являются недостаточными для указания текущего уровня безопасности из-за их ретроспективного характера и, следовательно, не могут предсказать или улучшить будущие результаты [28]. Более того, большинство «запаздывающих» индикаторов не способны передать полный перечень причин негативных последствий. В результате, реагирование на «запаздывающие» индикаторы, как правило, представляет собой широкий спектр корректирующих действий, направленных на устранение выявленных недостатков системы управления безопасностью труда. Кроме того, существующие исследования ставят под сомнение отчетность по «запаздывающим» показателям [29], т.к. их можно фальсифицировать, особенно, когда они связаны с оценкой эффективности безопасности предприятия [30].

Стоит отметить недостаточный уровень подготовки персонала по безопасному проведению и организации работ, обучение которого считается полезным методом управления безопасностью труда, но традиционно оно основывается на обучении в помещении, в котором отсутствует взаимодействие и практическое обучение.

Качественный контроль и мониторинг строительной площадки в настоящее время является ключом к управлению безопасностью труда. Однако в отсутствие технологической поддержки контроль всех участков строительной площадки ручным способом нецелесообразен из-за их большого размера и динамического характера рабочей среды [31].

Итак, анализ изложенных точек зрения на действующую организацию безопасности труда позволяет выделить основные показатели текущего состояния организации безопасного труда в строительстве:

1) Традиционное планирование безопасности основывается на частых ручных наблюдениях, является трудоемким процессом, требует много времени и, следовательно, крайне неэффективно. Связь между обеспечением безопасности и выполнением рабочих задач имеет слабую взаимосвязь. Например, многие подрядчики используют двухмерные чертежи или полевые наблюдения для определения методов предотвращения опасности. Поскольку их подход основан лишь на опыте, а получаемые результаты часто ошибочны из-за субъективных суждений лиц, принимающих решения.

2) Подходы к управлению безопасности труда с использованием «запаздывающих» индикаторов.

3) Использование устаревших методов, основанных на традиционных инструктажах, обучении и неполном перечне идентифицированных опасностях.

4) На этапе проектирования безопасности уделяется ограниченное внимание. Сотрудничество и коммуникация между заинтересованными сторонами проекта (проектировщики, подрядчики, субподрядчики и т.д.) в отношении безопасности весьма ограничены [29].

5) Бизнес-модель, в которой приоритет отдается коммерческим соображениям, а повышение безопасности рассматривается как «необходимое дополнение» при принятии решений [29].

Перечисленные препятствия создают опасности на этапах планирования и реализации проекта. Анализ и поиск причинно-следственной связи, статистические данные предоставляют ценную, но общую информацию для управления безопасностью труда. Однако этого недостаточно, чтобы предсказать, когда и где произойдут аварии на строительных объектах.

Описанное состояние системы управления безопасностью труда приводит к необходимости разработки новых подходов к обеспечению безопасности в строительстве с использованием ТИМ [31].

1.2. Анализ действующей системы контроля безопасности труда в строительной отрасли

С вводом в действие ГОСТ ИСО 45001 появились новые требования к системе мониторинга, контроля, оценке рисков и возможностей в системе менеджмента профессионального здоровья и безопасности. Оценка рисков и управление средствами контроля для устранения рисков имеют решающее значение для управления безопасностью труда [32].



Рисунок 1.3 – Структура системы управления безопасностью труда

Согласно рисунку 1.3, система мониторинга безопасности труда является частью системы контроля безопасности труда, которая, в свою очередь, выступает «ключом» к предотвращению и минимизации несчастных случаев на строительной площадке. Контроль безопасности труда является важнейшим компонентом управления безопасностью труда.

Целью действующего контроля безопасности труда является определение адекватного функционирования планируемых или действующих защитных мероприятий для устранения опасностей и минимизации рисков, действующих на работников вовремя их трудовой деятельности.

Для оценки состояния охраны труда и эффективности функционирования системы управления охраной труда применяют следующие виды контроля:

- текущий контроль выполнения плановых мероприятий по охране труда;
- постоянный контроль состояния производственной среды;
- многоступенчатый контроль состояния условий труда на рабочем месте;
- проверку готовности организации к работе в осенне-зимнем периоде;

- реагирующий контроль;
- внутреннюю проверку (аудит) системы управления;
- внешнюю проверку (аудит) органом по сертификации с выдачей сертификата соответствия [33].

Предприятия и организации проводят мониторинг, контроль и оценку рисков для определения степени выполнения действующих требований, которые включают:

- а) обратную связь по результатам деятельности в области охраны труда;
- б) информацию для определения результативности и эффективности текущих мероприятий по определению, предотвращению и ограничению опасных и вредных производственных факторов и рисков;
- в) основу для принятия решений о совершенствовании как определения опасностей и ограничения рисков, так и самой системы управления охраной труда [33].

Постоянный контроль состояния производственной среды предусматривает измерение (определение) и оценку опасных и вредных факторов производственной среды и трудового процесса на рабочем месте [33].

Текущий контроль должен содержать элементы, необходимые для функционирования упреждающей системы профилактических мер и предупредительных мероприятий, и включать:

- а) контроль выполнения конкретных планов, установленных критериев результативности исполнения и целей;
- б) систематическую проверку производственных систем, помещений, цехов и оборудования;
- в) наблюдение за производственной средой, включая организацию труда;
- г) наблюдение за состоянием здоровья работников, где это целесообразно, путем соответствующих медицинских осмотров, в том числе периодических, для раннего выявления признаков и симптомов нарушения здоровья с целью определения эффективности профилактических и регулирующих мер;

д) оценку соответствия с применимыми национальными законами и иными нормативными актами, коллективными соглашениями и другими обязательствами по охране труда, принятыми на себя организацией [33].

Реагирующий контроль должен включать определение, уведомление и расследование:

а) связанных с работой травм, ухудшений здоровья (включая мониторинг совокупных данных о временной нетрудоспособности), болезней и инцидентов;

б) других потерь, таких как имущественный ущерб;

в) неудовлетворительных результатов деятельности по выполнению требований безопасности и охраны здоровья и недостатков системы управления охраной труда;

г) программ трудовой реабилитации и восстановления здоровья работников [33].

Задача состоит в том, чтобы на основе результатов контроля обеспечить возможность разработки, оценки, уточнения конкретных стратегий профилактики и предупреждения профессионального травматизма и негативных событий на конкретных рабочих местах.

Исследования причин и обстоятельств производственных травм сосредоточены на тех данных, которые определяют обстоятельства возникновения, характер, масштабы и последствия травм для отдельных профессий или профессиональных групп. На основе выявленных причин разрабатываются и осуществляются меры по профилактике травматических повреждений персонала.

Однако выявленные причины, в большей степени, относятся к «запаздывающим» индикаторам, которые были рассмотрены в разделе 1.1. Напомним, что такие индикаторы носят реактивный характер и не подходят для использования в целях реализации предупреждающих мероприятий. Такие данные ограничивают совершенствование системы контроля безопасности труда в строительной отрасли.

Традиционный контроль проводится вручную, что приводит к значительной неэффективности процедуры сбора, анализа и передачи информации о безопасности [34]. Обычная процедура контроля часто начинается с бумажного контрольного списка и заканчивается простым отчетом о проверках, который включает в себя последующие замечания и мероприятия по повышению уровня безопасности, что приводит к генерации большого количества субъективных и фрагментарных данных [35]. Кроме того, режим работы с ручным контролем имеет присущие ему проблемы, поскольку он, в значительной степени, зависит от когнитивных способностей наблюдателя [35]. Можно сделать вывод, что ручной контроль имеет множество проблем, таких как низкая эффективность, высокий уровень человеческих ошибок, а также несвоевременное выявление и прогнозирование скрытых опасностей во время строительства [36].

Важно отметить, что действующая система контроля безопасности имеет достаточно длительное время реагирования для предотвращения опасности и развития негативных событий.

Для того, чтобы система контроля носила превентивный, нежели реактивный характер, она должна обеспечивать возможность раннего обнаружения несоответствий требованиям безопасности труда или возможного негативного развития событий в будущем за счет сокращения времени реагирования от нескольких недель до нескольких минут. Контроль должен быть тщательно организован для обеспечения возможности принятия своевременных превентивных мер и планов [37].

Предлагаемая цифровая система контроля позволит сократить время реагирования на изменения состояния безопасности труда на рабочих местах на строительной площадке до минимальных значений, которые будут определяться способностью передачи сигналов внутри системы информационной поддержки принятия решений. Так, например, широко используемые системы видеонаблюдения на автомобильных трассах позволяют фиксировать нарушения скоростного режима движения автотранспорта в режиме реального времени с

передачей цифрового сигнала на сервер в интервале времени от 0,5 до 2 секунд [38, 39]. Такое время получения информации в реальном времени с рабочих мест на строительной площадке позволит предлагаемому нами алгоритму функционирования системы контроля вовремя предупреждать о создающейся угрозе жизни и здоровью работника до наступления негативного события.

Существует острая необходимость в разработке новых методик для совершенствования системы контроля и более инновационных методов сбора, анализа и визуализации данных [31].

Создание высокопроизводительной цифровой системы является общепризнанным подходом к решению проблем устаревшей системы контроля и развитию управления безопасностью труда в строительстве. Несколько приложений информационных технологий широко используются для повышения эффективности проверки безопасности.

1.3. Обзор результатов исследований по интеграции технологий информационного моделирования и системы контроля безопасности труда

Как упоминалось ранее традиционные методы управления безопасностью включают в себя организационно-технические мероприятия, которые не интегрированы с другими видами организационно-управленческой деятельности предприятия. Напомним, что к организационно-техническим мероприятиям относятся организация обучения по охране труда, обеспечение работников средствами индивидуальной и коллективной защиты, установка ограждающих конструкций, определение опасных зон, контроль за состоянием техники и т.д.

Перечисленные мероприятия не могут подстроиться под меняющуюся ситуационную обстановку на строительной площадке. Такие мероприятия планируются к выполнению на стадии проекта, но не учитывают динамику строительного процесса с изменяющимися условиями рабочей среды. Любые

изменения таких условий влекут за собой изменения в требованиях по организации безопасного труда.

В силу изложенного важно разработать и внедрить в строительные производственные процессы ТИМ для обеспечения организации безопасного труда.

Существует ряд исследований, которые описаны в работах Лиу, Полак-Сопинска, Адема, Николетти и др. [40-44]. В них авторы раскрывают положительные аспекты внедрения ТИМ, способные сделать рабочую среду на строительной площадке более безопасной путем снижения и предотвращения рисков. Это подтверждает нашу гипотезу об актуальности использования ТИМ.

В исследованиях авторов [41, 45, 46] изложены возможности применения информационного моделирования, которые помогут исключить присутствия людей в опасных местах, производить непрерывный мониторинг рабочего места в течение всего процесса строительства для повышения безопасности, а также содействовать более активному подходу к выполнению требований по охране труда.

Применение ТИМ для постоянного контроля состояния безопасности работников с целью поведенческого аудита для предотвращения несчастных случаев рассматривал в своих работах Мин [47].

Все вышеизложенные способы организации безопасного труда в строительной отрасли основываются на применении ТИМ и призваны снизить риски производственного травматизма и улучшить устойчивость строительного процесса. Однако мы полагаем, что следует усовершенствовать описанные методы. Анализируя исследования авторов, мы считаем, что предложенные способы имеют ограниченный характер. Наша идея состоит в их объединении и создании цифровой системы контроля для предупредительной организации безопасного труда.

По нашему мнению, необходимой составляющей для организации безопасного труда и создания единой цифровой системы является сбор данных в режиме реального времени. Такие разработки отражены в работах [48]. Авторы

отмечают, что датчики, размещенные у рабочих в сочетании с киберфизическими системами, можно использовать для моделирования с целью улучшения эргономики и производительности. А Бордель [49] в своих работах считает, что датчики Интернет вещей (Internet of Things, IoT), установленные в машинах, могут снизить количество несчастных случаев между людьми и применяемой ими спецтехникой на строительной площадке. Технология IoT в сочетании с базами данных расширяет возможности проверки требований и правил по безопасности труда. Использование такого метода может способствовать созданию более здоровой и безопасной рабочей среды [50].

Более широкое применение ТИМ в задачах безопасности труда представлено на рисунке 1.4.

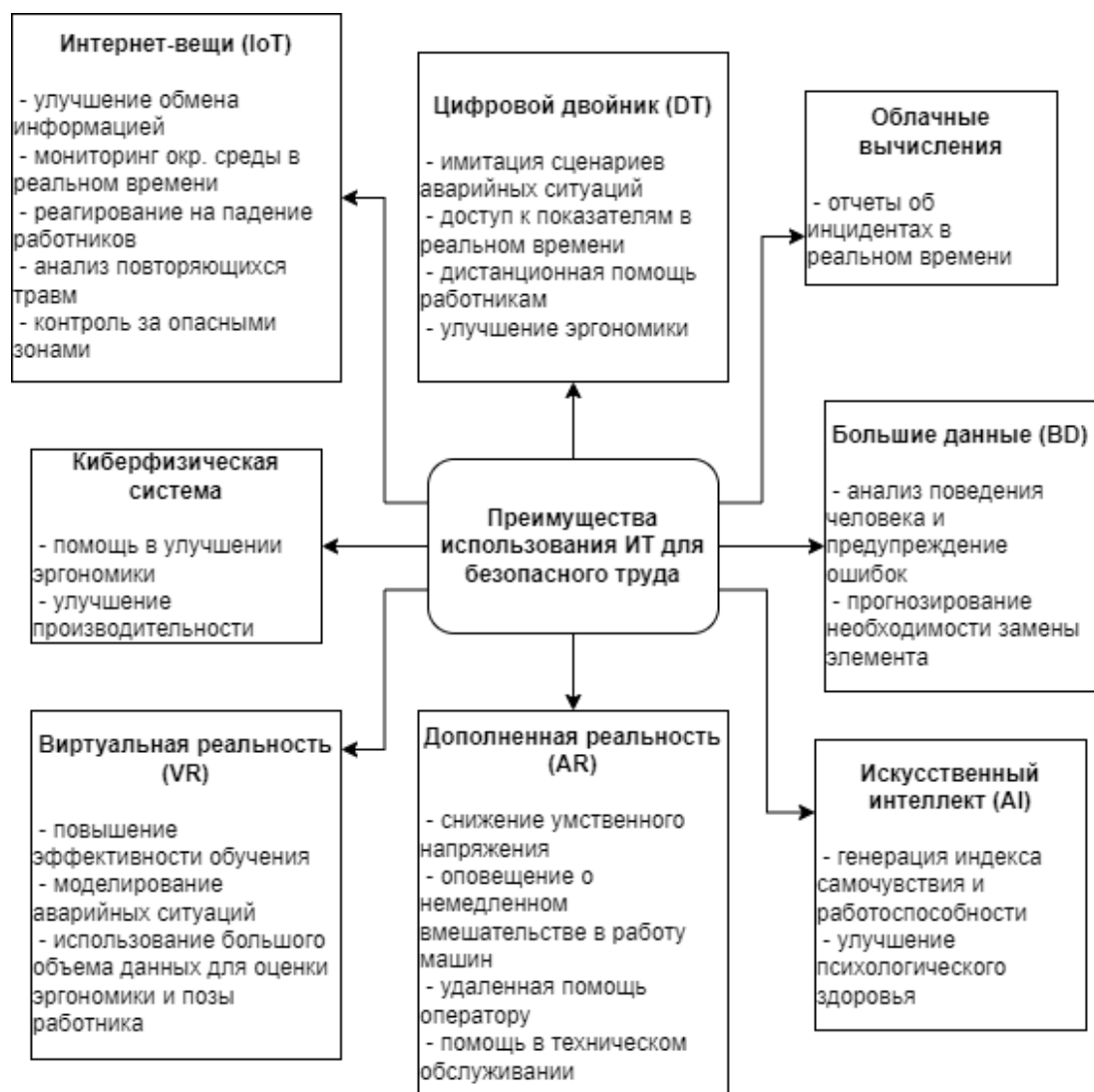


Рисунок 1.4 – Применение ТИМ в области безопасности труда

Каждый представленный на рисунке 1.4 инструмент направлен на повышение уровня безопасности в строительной отрасли, что еще раз подтверждает актуальность внедрения разработок с использованием перечисленных технологий. Но каждая технологий имеет узкую направленность и решает лишь выборочные проблемы при организации строительства и безопасности труда. Используя труды и исследования авторов, мы предлагаем модернизировать и усовершенствовать подход к применению технологий, создавая цифровую систему контроля за состоянием строительной площадки с точки зрения обеспечения безопасности труда в реальном времени [51].

Основной целью внедрения такой системы является устранение опасностей на рабочем месте и сокращение времени реагирования на нарушения требований безопасности, что позволит минимизировать количество несчастных случаев в строительной отрасли.

Существующая система контроля работает, но не адаптирована под динамический характер рабочей среды. Всякий раз, когда меняется ситуационная модель строительной площадки, меняется и перечень опасностей, а также возможные негативные последствия. Рабочие условия постоянно изменяются, тем самым, изменяются факторы, влияющие на безопасное ведение строительных работ. Система не учитывает меняющиеся условия в реальном времени, как и параллельные строительные технологические процессы, отсутствие работника на месте, отставание от календарного плана, нехватку того или иного строительного материала, поломку спецтехники и т.д. Система не имеет возможности постоянно собирать, анализировать данные в режиме реального времени и обеспечивать обратную связь с участниками строительства.

Динамичный характер исполнения строительного проекта приводит к изменению подходов к обеспечению безопасности. Развитие технологий дает базу для перехода от фрагментарного контроля к единому управлению безопасностью. На основе статических чертежей сложно определить потенциальную опасность на разных этапах строительства.

За последние несколько лет исследования в области управления безопасностью на строительных площадках и разработка инструментов на основе инновационных технологий значительно выросли [52].

Сегодня разрабатываются различные подходы к управлению строительством с точки зрения безопасного труда использованием самых современных технологий, таких как информационное моделирование зданий, дополненная реальность, чтобы уменьшить рабочую нагрузку на персонал и снизить риски управления строительством. Так, зарубежные авторы Ли и Ву [53] использовали цифровые технологии для определения перспектив систем позиционирования внутри объектов строительства. А Донг и др. [54] представили подход к управлению дефектами, который позволяет бригаде на месте использовать портативные мобильные устройства для сбора дефектов и отправки их на сервер с помощью беспроводной связи, где инженеры и проектировщики смогут провести сравнительный анализ с моделью проекта, чтобы принять решение для устранения несоответствий. Цай же и др. предложили подход к проверке качества строительства на основе ТИМ и мобильных вычислений, при котором надзорные органы определяют задачи и места проверки перед выездом на объект и вводят данные проверки на строительных площадках на основе предварительно созданных изображений ТИМ с использованием соответствующих форм информации о строительстве на мобильное устройство [54].

Используя эту структуру, Квон и др. дополнительно разработали систему управления дефектами с двумя подсистемами: системой сопоставления изображений для обнаружения несоответствий путем сравнения виртуальных 2D-изображений моделей ТИМ с фотографиями реальных работ и мобильным приложением дополненной реальности, помогающим обнаруживать ошибки на строительных площадках [54].

Система управления проектом также обеспечивает прозрачность повседневной деятельности предприятия. Это позволяет оценить текущую производительность для каждой группы объектов, включая сторонних

подрядчиков и цепочку поставок, с целью обеспечения неизменно высокого качества работы и, в конечном итоге, повышения производительности, а также обеспечения надежной основы для соблюдения законодательных и нормативных требований, таких как ISO (Международная организация по стандартизации) [55].

Вышеперечисленные разработки использования информационных технологий носят точечный характер и направлены на устранение конкретной проблемы, не учитывая влияние смежных или параллельных процессов. Они не решают проблемы управления безопасностью с учетом фактического состояния строительной площадки. Ведь качество строительства зависит от жизни и безопасности рабочего персонала. Поэтому стоит добавить, что безопасность также является неотъемлемым компонентом строительного проекта, который нельзя отделить от графика, стоимости и качества.

Престиж, доверие со стороны заказчика или потребителя делают фирму конкурентоспособной. Функционирующая система должна удовлетворять интересам и требованиям заказчика по соблюдению сроков строительства, выполненным работ согласно проектно-сметной и нормативной документации, использованию выделенного бюджета.

Опираясь на достижения в программных приложениях и информационных системах, существует возможность улучшить процесс документирования и обмена знаниями о рисках на протяжении всего жизненного цикла проекта, построенного актива и в более широкой строительной отрасли.

1.4. Постановка задач исследования

Существующая система контроля безопасности труда в исследуемых строительных организациях требует доработки. Отчетные материалы по результатам проведения мониторинга не содержат сведений о динамике изменений количества нарушений требований безопасности по контролируемым направлениям в подразделениях, а значит, нет возможности совершенствовать

систему контроля и оказывать должное влияние на процесс снижения нарушений требований безопасного труда.

Внедрение технологий информационного моделирования – один из элементов цифровизации строительной отрасли. Понятие «информационная модель объекта капитального строительства» появилось в Градостроительном кодексе в 2019 году. Информационная модель представляет собой совокупность сведений, документов и материалов, которые формируются на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства.

«Дорожной картой» предусмотрено развитие перспективных направлений применения новых технологий в строительной отрасли, например дополненной и виртуальной реальности на этапах выполнения монтажных и пусконаладочных работ [56].

Информационные технологии для безопасности труда ровно как для любой другой отрасли обеспечивают прежде всего систематизацию данных, четкую структуру и упорядоченное ранжирование проблем, аналитический механизм подбора решений, вариативный механизм критериев и параметров безопасности.

Современное производство, обеспечивающей частью которого является безопасность условий труда, требует новой информационной технологии охраны труда, автоматизации сложной многоплановой деятельности специалистов по охране труда, с одновременным решением оперативного доведения до каждого пользователя в рациональном объеме практических результатов и разработок.

Сегодня компании архитектурно-строительной отрасли находятся на разных уровнях зрелости и, как правило, используют ТИМ для решения задач узкого профиля. Опыт международных отношений показал необходимость разработки отечественных технологий информационного моделирования. До настоящего времени основная работа шла по совершенствованию закупаемых из-за рубежа программ и обучения работы с ними, при этом разработанные улучшения не становились собственностью отечественных ВУЗов и компаний. Время показало недостатки таких подходов.

Сейчас мы переходим к совершенствованию и созданию отечественных цифровых технологий, и собственных библиотек данных. Расширение применения технологий информационного моделирования в архитектурно-строительном проектировании и инженерных изысканиях, развитие цифровых компетенций в сфере инженерных изысканий, градостроительства и архитектурно-строительного проектирования – основная задача, стоящая перед строительной отраслью. Нам необходимо принять стратегии и разработать системы классификации, регистрации и хранения, чтобы использовать этот новый мир больших данных для доступа, извлечения и повторного использования. Это позволит реализовать потенциал ТИМ, в частности, в целях безопасного труда в строительстве. По итогам четвертого квартала 2024 года доля работающих с ТИМ застройщиков в РФ выросла с 26% до 30% [57].

Цифровые технологии в РФ активно развивают и ведущие российские застройщики: группа «Эталон» использует ТИМ с 2012 года. В настоящее время группа развивает проект «ТИМ в эксплуатации», благодаря которому можно эффективно планировать даты обслуживания и ремонта инженерных систем. Технология ТИМ-моделирования стала применяется для проектирования домов жилого комплекса «Зиларт» «Группы ЛСР», Группа «Самолет» планирует за пять лет потратить на цифровизацию бизнеса 8 млрд руб. ГК «ПИК» перевела несколько тысяч своих проектировщиков на постоянный режим удаленной работы. Компания «Брусника» совместно со Сбербанком продолжает реализовывать проект по строй-контролю на базе ТИМ 360 (Autodesk), дающий экспертам финансового учреждения доступ к операционным данным девелопера. Разработанное решение позволяет обеспечить прозрачность строительного процесса для всех участников (проектировщиков, подрядчиков, заказчика и банка) и в перспективе снизить ставку по проектным кредитам [58].

Данные, приводимые российскими учёными, демонстрируют высокую степень применения информационных технологий в сфере безопасности труда на предприятиях США и странах Евросоюза. На Западе существует множество программных продуктов и комплексов, способствующих созданию

интеллектуальной среды, обеспечивающей информационную поддержку в сфере охраны труда и здоровья работников.

В отечественной литературе имеется большое количество источников по применению ТИМ в строительстве, но, к сожалению, недостаточно публикаций по применению данных технологий в целях повышения безопасности труда [59].

С быстрым развитием новых технологий строительная отрасль переходит от трудоемких способов сбора информации к методам, основанным на автоматическом получении данных. Используются различные информационные технологии для реализации восприятия информации в режиме реального времени, совместной работы нескольких участников и интеллектуальных решений управления на месте [60]. С одной стороны, применение информационных технологий позволяет повысить качество строительства и производительность. С другой стороны, оно рассматривается как площадка для управления безопасностью в режиме реального времени. Однако, известно, что недостаточно внимания уделяется организации безопасного труда на строительных площадках в реальном времени.

Выводы по главе

1. Анализ действующей системы контроля безопасности труда в строительной отрасли показал ее слабые стороны, что приводит к сохранению достаточно высокого уровня травматизма и развитию других негативных событий в процессе строительства. Система контроля использует «запаздывающие» индикаторы, длительное время реагирования на устранения несоответствий требованиям безопасности труда и является недостаточной мерой для повышения уровня безопасности на строительной площадке.

2. На основании обзора исследований отечественных и зарубежных авторов в области применения ТИМ в строительной отрасли, обоснована необходимость применения ТИМ для повышения уровня безопасности труда на строительной площадке с учетом нормативных требований.

3. Анализ опыта использования ТИМ в области безопасности труда в РФ, на основании которого выявлены существенные недостатки, не позволяет в полной мере оценить степень рисков. Уровень внедрения и использования ТИМ недостаточно проработан. Многие разработанные программные продукты носят точечный характер, т.е. направлены на решение частных задач и не приспособлены анализировать и оценивать общую картину происходящего на строительной площадке.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТИМ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

Существует множество информации, которую система контроля может использовать в среде информационного моделирования, и большое количество способов ее получить, например, анализ документации, улучшение взаимосвязей между фрагментами информации и участниками строительства, а также фильтрация, чтобы отображалась только релевантная информация.

Информация в мире ТИМ поступает из различных источников, включая базы данных, электронные таблицы, программные платформы для разработки проектов (Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD и проч.), а также инструменты ТИМ для оценки стоимости, средства проверки моделей и инструменты для построения спецификаций. Преимущество ТИМ заключается в том, что он обеспечивает доступ к среде, позволяющей комбинировать и преобразовывать эти источники, тем самым предоставляя актуальную информацию на всех этапах строительства. Например, информацию из чертежа, показывающего планировку здания, можно перегруппировать, чтобы показать конкретные опасности на каждом этаже. Затем они могут быть перечислены в приоритетном порядке по итогу оценки рисков, а итоговый отчет передан каждому соответствующему субподрядчику.

Важно отметить, что преимущество, которое дает технология, заключается в ускорении процесса отчетности. Например, идентификация рисков и оценка уровня безопасности, которые раньше можно было проводить только визуально, например, касающиеся использования рабочего пространства и безопасных зон, теперь могут быть автоматизированы.

Существуют и другие возможности для ТИМ, которые предполагают новое использование данных. Они вращаются вокруг визуализации, моделирования, виртуального прототипирования, проверки и т.д. Например, цифровая информация может быть настроена для предварительного просмотра ряда потенциальных сценариев, чтобы пользователи могли оценить

преимущества и недостатки каждого из них. Этот метод уже используется при планировании затрат для перерасчета финансовых последствий. Но теперь возможно рассматривать риски и опасности как форму валюты, позволяющую пользователям рассчитывать, возможно, «стоимость» конкретного действия для безопасности. С добавлением времени в качестве параметра можно рассмотреть, как последовательность действий может повлиять на уровень безопасности в процессе строительства.

Поэтому необходимо попытаться применить методы прогноза, чтобы минимизировать или предотвратить риски. Неприемлемо просто идентифицировать и регистрировать опасность после ее возникновения.

Хотя в идеальной ситуации распространенные опасности должны быть предусмотрены, но иногда они неизбежны. Правила пытаются вооружить работников знаниями там, где они не могут избежать риска.

Существуют технологии, которые поддерживают эти усилия и выводят стратегию предупреждения. Исследования показали, что с помощью технологии радиочастотной идентификации (RFID) можно отслеживать необходимые объекты на строительной площадке. Способность RFID отслеживать и идентифицировать объекты играет важную роль в системах инвентаризации и поставок. Более того, она вносит значительный вклад в обеспечение безопасности работников, позволяя определить местоположение персонала, машин и оборудования на строительных площадках [61]. Информация, относящаяся к местонахождению персонала, машин и материалов в режиме реального времени, может выявить вероятность несчастных случаев и помочь избежать аварийных ситуаций, а также реальных происшествий на строительных площадках [22]. Недавнее исследование [24] показало, что такая система упреждающего предотвращения несчастных случаев состоит из информации по трем аспектам:

1. Контроль доступа.
2. Информация об обучении и инспекции.
3. Эксплуатационные полномочия.

Однако, несмотря на свой большой потенциал, строительная отрасль медленно внедряет технологию RFID [23]. Метки RFID уже используются во многих приложениях, включая контроль доступа или отслеживание материалов в процессе производства для контроля запасов и доставки. Эти функции могут быть расширены для использования на строительной площадке.

В одном исследовании с использованием глобальной системы позиционирования (GPS) и технологии RFID для получения данных о местоположении как рабочих на площадке, так и мобильного крана, была разработана система контроля в реальном времени для выявления несанкционированной работы или проникновения персонала за пределы заранее установленной зоны. Если они находились на расстоянии менее 3 метров друг от друга, кран отключался и подавался предупреждающий сигнал.

Сети беспроводных датчиков (WSN) состоят из ряда связанных датчиков, которые реагируют на физические условия или условия окружающей среды, такие как температура, звук, давление и влажность. Таким образом, их можно использовать для мониторинга рабочего «здоровья» машин. Это технология, позволяющая автоматически включать стеклоочистители или фары автомобиля, но ее также можно использовать, чтобы определить, изношены ли детали, например, автомобильные шины или произошел их перегрев.

2.1. Исследование системы контроля уровня безопасности труда на примере ГК «Эталон»

Согласно действующему законодательству РФ в области охраны труда и отраслевым стандартам, организация, принявшая на себя функции координации строительно-монтажных работ – генеральный подрядчик, на основе контракта/договора с заказчиком на строительство объекта, осуществляет контроль и надзор за состоянием охраны труда, исполнением требований законодательства в этой области всеми участниками строительного процесса –

субподрядными организациями. Генеральный подрядчик несет ответственность перед заказчиком за весь объем выполняемых работ при строительстве объекта.

На сегодняшний день в Российской Федерации многие строительные компании осознают важность перехода на более современные цифровые системы управления процессами строительства, и этому способствовал ряд законодательных инициатив [62, 63], но лишь немногие из них готовы к такому обновлению.

В ряду передовых компаний, существующих на современном рынке строительной отрасли, внедряющих цифровые решения в производственный цикл, представлена ГК «Эталон». Строительная компания имеет 35-летний опыт строительства, представлена в семи регионах Российской Федерации, где построено более 8 млн метров квадратных площади недвижимости, на сегодняшний день одномоментно реализуется более 27 проектов строительства [64].

Компания «Эталон» одна из первых в стране внедрила ТИМ в процессы строительства, в том числе, на основе данных технологий подразделением компании по цифровым решениям, был разработана и апробирована программа Safety Index, позволяющий проводить оценку состояния условий и охраны труда на строительных площадках компании. «Safety Index» — это методика по оценке состояния охраны труда и техники безопасности на объектах промышленно-гражданского строительства с применением технологии информационного моделирования зданий и сооружений [65].

Программный продукт предназначен для использования инженерно-техническими работниками, входящими в структуру управления охраной труда компании. Примерная структура управления и уровни ответственности за обеспечение требований охраны труда представлена на рисунке 2.1.

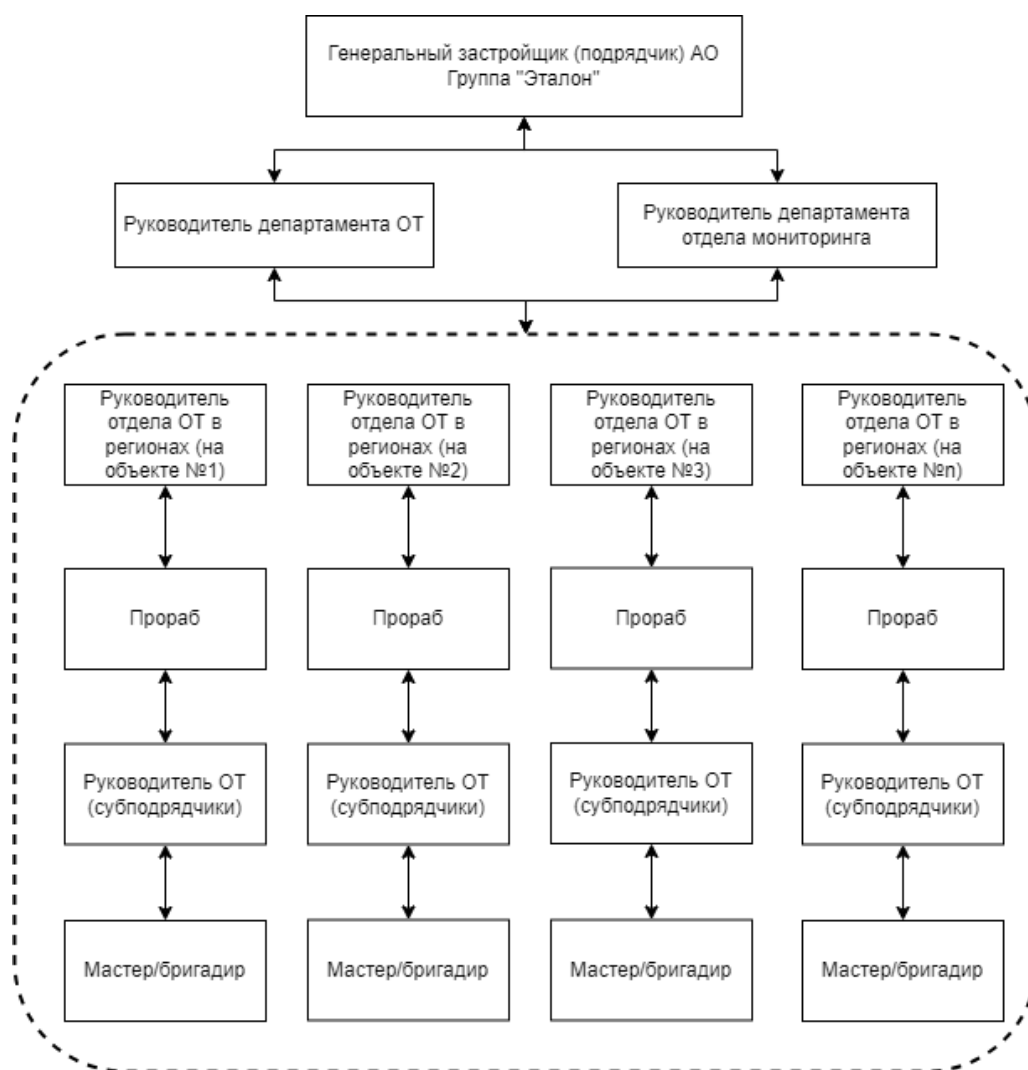


Рисунок 2.1 – Примерная структура управления и уровни ответственности [66]

Основное отличие от других строительных компаний заключается в создании департамента системы мониторинга, сотрудники которого проводят обходы, используя «Safety Index» и передают данные департаменту охраны труда.

Для выработки единого подхода к оценке уровня безопасности на строительной площадке, разработчики руководствовались нормативно-правовыми документами, регламентирующими вопросы специальной оценки условий труда, взяв за основу существующие классы условий труда, затем риск-ориентированный подход – градация профессиональных рисков, а так же классификацию видов строительно-монтажных работ с соответствующими

видами опасных и вредных производственных факторов, на основе МДС 12-28.2006 [66].

Так, в качестве ключевых показателей, по которым должен осуществляться сбор информации ответственными инженерно-технический работник (далее – ИТР), были определены семь критериев (в каждом из которых предусмотрены факторы, определяющие данный показатель, всего определено 22 – рисков фактора):

- предохранение от падения;
- процесс работы;
- порядок, уборка мусора;
- машины, приспособления;
- леса, мостики, стремянки;
- электричество, освещение;
- средства пожаротушения [66].

В существующей проектной трехмерной модели строящегося объекта были определены и выделены элементарные участки, так называемые «точки контроля», которые рассчитаны на не более 100 квадратных метров, или на каждое «жилое помещение». По указанным точкам контроля происходит систематический сбор информации и загрузка, в виде файлов фото- и видеофиксации, в модель строящегося объекта специалистами по охране труда и ИТР. Данные загружаются в режиме реального времени и становятся доступны всем заинтересованным сторонам строительного процесса [66].

Периодичность проведения осмотров напрямую зависит от результатов предыдущих проверок и количества выявленных нарушений и несоответствий требованиям безопасности труда, однако, проводится не ранее, чем через две недели с момента последней проверки [66].

Уровень безопасности в контрольных точках и объекта в целом, определяется показателем – «индексом безопасности», который показывает в каком интервале состояния, из существующего диапазона, находится контрольный объект, а также степенью риска – показывающей сумму риска по

объекту. Граничные величины уровня безопасности были определены для следующих диапазонов:

1 уровень – неприемлемый, индекс безопасности находится в диапазоне от 0 до 55%;

2 уровень – низкий индекс безопасности в диапазоне от 55-75%;

3 уровень – начинается от 75% - минимальный целевой до 85%;

4 уровень – средний, соответствует 85%;

5 уровень – максимально достигнутый, соответствует 95% [66].

Так, в контрольных точках, охарактеризованных низким уровнем индекса безопасности – менее 75%, и высоким уровнем степени риска – более 45, частота проверок может быть увеличена и происходить ежедневно, до устранения несоответствий [66].

В контрольных точках, где уровень индекса безопасности составляет высокую величину, например более 85% и низкую степень риска – менее 20 проверки могут происходить один раз в месяц.

На рисунке 2.2 показан вариант отчета результата проведения оценки состояния условий и охраны труда сотрудником отдела мониторинга.

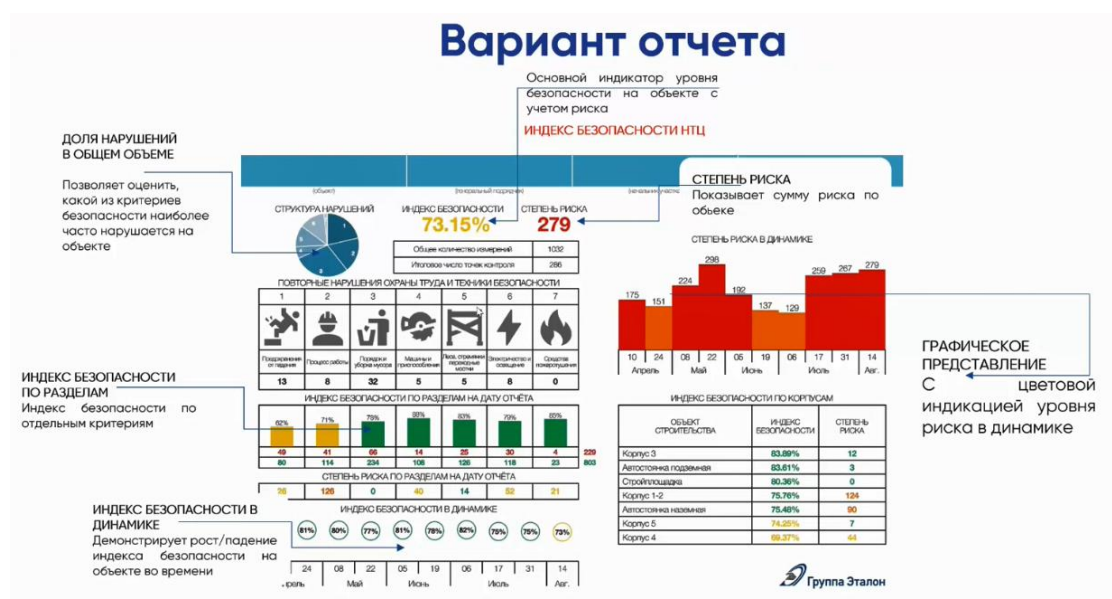


Рисунок 2.2 – Отчет о проведении оценки состояния условий и охраны труда на объекте строительства [67]

Как видно из рисунка, получив данные отчета по состоянию условий труда и выполнения требований безопасности в ТИМ-среде с объекта строительства, руководители и специалисты могут увидеть обобщенные результаты «уровня безопасности» на объекте, так же изучить более детально данные по всем элементарным контрольным точкам, которые показаны в 3D-модели и подсвечены соответствующим цветом (как показано на рис. 2.3), например, красным – с выявленными несоответствиями и критичным индексом безопасности, желтым – с выявленными несоответствиями, но средним уровнем индекса, и зелёным – с высоким уровнем индекса безопасности.



Рисунок 2.3 – Результаты проверок по охране труда на рабочих местах объекта строительства [67]

Как показано на рисунке 2.4, в результате проверок были выявлены нарушения требований охраны труда, и соответствующая информация в виде фотоотчета с идентификационным номером – ID:XXXXXX прилагается к 3D-модели. Специалист по охране труда при просмотре фиксирует нарушение и выписывает предписание об устранении нарушений в этой же форме, в электронном виде [66].

В результате проводимых проверок формируются отчеты, по которым в дальнейшем можно судить о динамике изменений интегрального показателя

уровня безопасности на объекте наблюдения. Плановые периоды проверок проходят с периодичностью один раз в две недели (рис. 2.4).

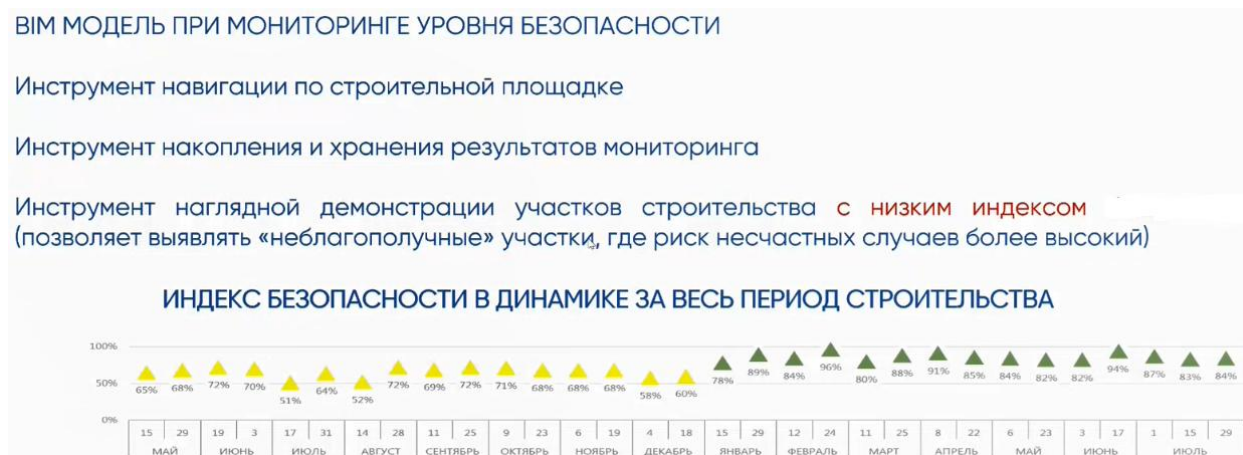


Рисунок 2.4 – Индекс безопасности в динамике за весь период строительства [67]

В результате внедрения программы в систему контроля безопасности труда на строительных площадках Группы «Эталон», произошло существенное снижение нарушений в области охраны труда, и случаев травматизма. Однако такая система контроля недостаточно информативна, так как процессы на строительной площадке довольно динамичны, и она требует дальнейшего совершенствования.

2.2. Определение критериев для усовершенствованной системы контроля за уровнем безопасности труда на строительной площадке

Концепция системы контроля направлена на выявление, устранение или снижение рисков как на ранней стадии проектирования, так и вовремя строительства. Устранение опасностей на стадии проектирования часто проще и дешевле, чем внесение изменений на более поздней стадии строительства, когда опасности становятся реальными рисками на рабочем месте. Однако не всегда становится возможным предвидеть все риски на начальном этапе, ведь

строительная площадка – это динамическая среда с постоянно меняющимися факторами, влияющими на уровень безопасности [31].

На практике неполноценное выявление опасностей часто связаны с ограниченным опытом, плохой подготовкой и невнимательностью персонала. Другой проблемой является разрозненный мониторинг за безопасностью труда надзорными органами. Деятельность каждой организации и последующие мероприятия по повышению уровня безопасности труда имеют узконаправленный характер. Вопрос обеспечения безопасности рассматривается по частям, а не комплексно. Отсутствие оперативного отслеживания ситуации на строительной площадке с постоянно меняющимися факторами производственной среды не может работать на предупреждение. Такой подход не позволит полностью снизить риски. Эта проблема создает трудности для персонала по вопросам обеспечения безопасности при анализе «что, когда, почему и где» необходимы те или иные меры безопасности. По результатам анализа научных исследований ТИМ может изменить подход к обеспечению безопасности за счет автоматического обнаружения и устранения опасностей и на этапе проектирования, и на этапе строительства.

При разработке усовершенствованной цифровой системы контроля безопасности труда возникает вопрос выбора критериев оценки уровня безопасности на строительной площадке [16]. Поэтому для обнаружения нарушений и предотвращения несчастных случаев при строительстве зданий на основе нормативно-правовых актов (см. табл. 2.1) и проектной документации конкретного объекта строительства выделены и предложены 6 критериев для создания математической модели усовершенствованной цифровой системы контроля безопасности труда (см. рис. 2.5).

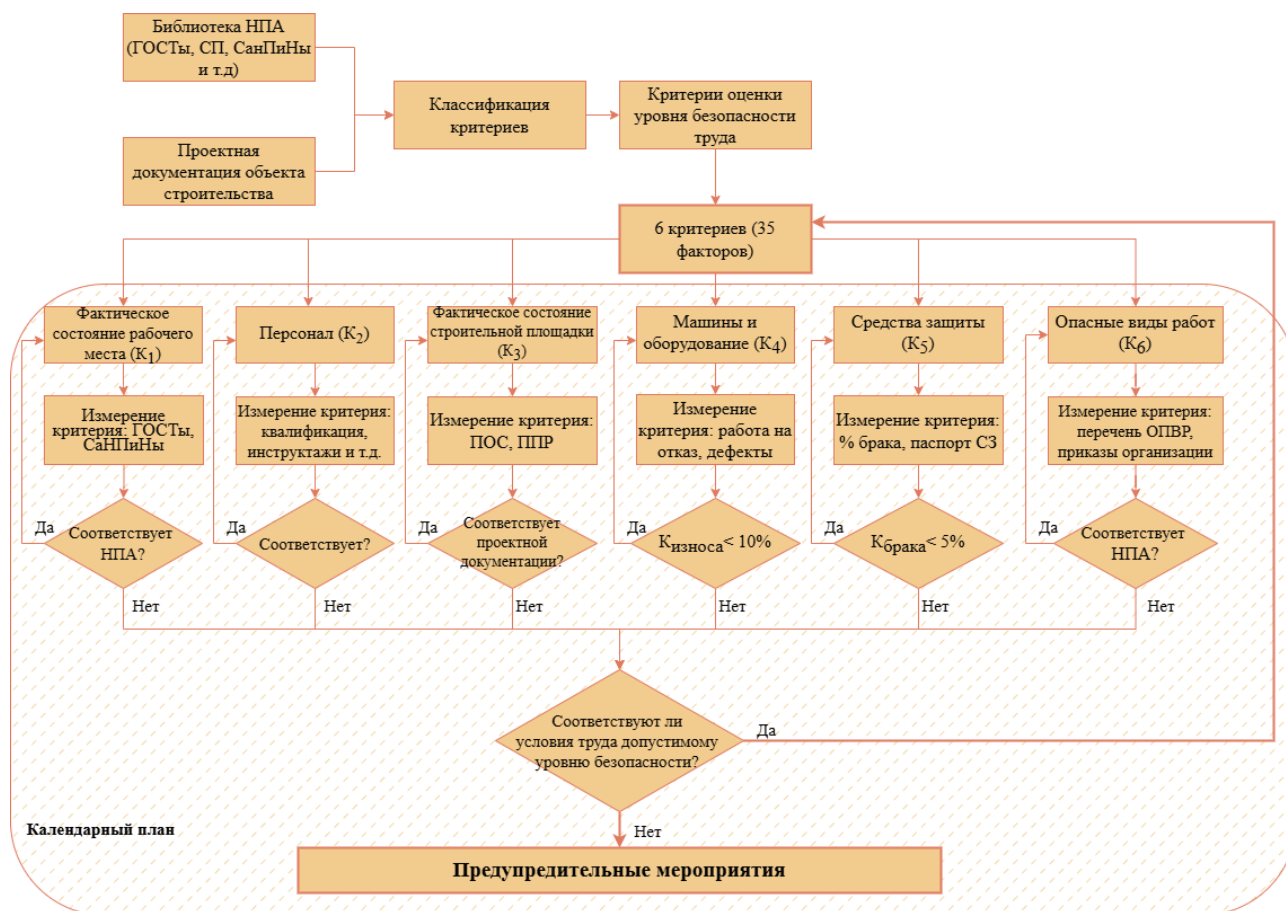


Рисунок 2.5 – Блок-схема критериев для оценки уровня безопасности труда на строительной площадке [16]

Модель содержит 6 критериев:

1. фактическое состояние рабочего места;
2. персонал;
3. фактическое состояние строительной площадки;
4. машины и оборудование;
5. средства защиты;
6. опасные виды работ [16].

Как видно из таблицы 2.1. шесть критериев содержат в общей сложности 35 факторов, детализирующих будущую модель. Далее обоснуем выбор критериев.

Таблица 2.1 – Критерии и факторы для оценки уровня безопасности труда на строительной площадке [16]

Критерии	Факторы	НПА
1	2	3
Фактическое состояние рабочего места (K_1)	– Физические факторы (шум, вибрация, освещенность и т.д.); – Химические факторы; – Биологические факторы; – Факторы трудового процесса; – Санитарное содержание рабочего места; – Эргономика рабочего места (размеры рабочего места, расположение оборудования); – Перепады по высоте; – Температура воздуха; – Скорость движения воздуха.	Приказ Минтруда России от 29.10.2021 № 774н; ГОСТ 12.2.032-78; ГОСТ 12.2.033-78; ГОСТ Р 52324-2005; ГОСТ Р ЕН 547-1 – 008; ГОСТ ЕН 1005-2 –2005; ГОСТ Р 52870 – 2007; ГОСТ ИСО 895 – 2002; СанПиН 1.2.3685-21; Приказ Минтруда России от 14.09.2021 № 629н.
Персонал (K_2)	– Квалификация работника; – Инструктажи; – Обучение по ОТ; – Медосмотры; – Псих. освидетельствование; – Отсутствие на рабочем месте (больничный лист, вакансия).	Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих; Ст. 214 ТК РФ; Постановление Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2021 г. № 2464; Постановление Правительства РФ от 30.12.2022 № 2540; Приказ Минздрава России от 31 декабря 2020 г. № 988н/1420н; Ст. 220 ТК РФ «Медицинские осмотры некоторых категорий работников»; Приказ Минздрава от 20 мая 2022 г. № 342н; Ст. 81 п.6 ТК РФ; раздел IV, гл.15 ст.91 ТК РФ; Постановление Правительства РФ от 24.12.2021 N 2464.

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3
Фактическое состояние строительной площадки (K_3)	– Разбивка на зоны; – Выравнивание, отсыпка и уплотнения; – Опасные зоны; – Ограждающие конструкции; – Нахождение третьих лиц на территории; – Санитарное содержание территории; – Прокладка систем энергоснабжения; – Пожарная безопасность.	Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»; Приказ Минтруд Ф №883н от 11.12.2020; Локальные нормативные акты предприятия, ст. 8 ТК РФ; Федеральный закон от 21.12.1994 N 69-ФЗ (ред. от 29.12.2022).
Машины и оборудование (K_4)	– Техническое освидетельствование; – Условия эксплуатации; – Опасные зоны работы машин и оборудования; – Опасные зоны падения груза; – Защита движущихся частей оборудования – Расположение оборудования	Федеральный закон от 27.12.2002 N 184-ФЗ (ред. от 02.07.2021); Технический регламент таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования»; Приказ Минтруд Ф №883н от 11.12.2020; Локальные нормативные акты предприятия, ст. 8 ТК РФ.
Средства защиты (K_5)	– Подходящая степень защиты; – Обучение правилам носки и применения; – Карточки СИЗ; – Износ/брак.	Федеральный закон от 27.12.2002 N 184-ФЗ (ред. от 02.07.2021); Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 N 878 (ред. от 03.03.2020) (вместе с ТР ТС 019/2011 «Технический регламент Таможенного союза. О безопасности средств индивидуальной защиты»); Приказ Минтруда России от 29.10.2021 N 766н.

Продолжение таблицы 2.1

Опасные виды работ (K_6)	– Виды работ, согласно приказу; – Наряд-допуск; – Обучение по ОТ.	Локальные нормативные акты предприятия, ст. 8 ТК РФ; Перечень опасных видов работ (Приложение 2, Приказ Минтруда России от 29.10.2021 N 776н); Опасные виды работ, в соответствии с требованиями из отраслевых правил по охране труда: а) Приказ Минтруда России от 16.11.2020 N 782н (гл. IV, п 48 – 74 наряд-допуск); б) Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 N 528 (п. 71 наряд-допуск); в) и др.; - Постановление Правительства РФ от 24.12.2021 N 2464.
------------------------------	---	---

Критерий фактического состояния рабочего места. Рабочее место – место, где работник должен находиться или куда ему необходимо прибыть в связи с его работой и которое прямо или косвенно находится под контролем работодателя [19]. В соответствии ТК РФ каждый работник имеет право на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда.

Выбранные факторы (табл. 2.1) подробно описывают фактическое состояние рабочего места на строительной площадке и дают возможность оценить уровень безопасности на рабочем месте.

Персонал. Ключевую роль во всем процессе строительства выполняют люди. Действия, выполняемые людьми, вовлеченными в рабочий процесс, способны моделировать распространение последовательности случайных действий, вызывающих отклонение от ожидаемого сценария и инициирующих неблагоприятный поток событий. Обучение по охране труда (далее – ОТ) играет важную роль в успехе строительных проектов. Программа обучения ОТ помогает персоналу выявлять опасности и реагировать на них соответствующим

образом. Существует несколько способов реализации обучения ОТ – традиционные инструменты и компьютерные технологии.

Фактическое состояние строительной площадки. Проблема нынешней системы контроля безопасности труда – ее статичность. Проектная документация, выполненная до начала строительства, не может предусмотреть изменяющиеся условия в будущем и быть адекватной к условиям технологических процессов в ходе строительного процесса [11].

Вопросы безопасности труда при строительстве объекта должны быть проработаны в ППР и технологических картах. Более того, при анализе технологических карт, раздел «Мероприятия по охране труда и безопасному ведению работ» содержит лишь общие рекомендации [11]. Поэтому важно понимать, что фактическое состояние строительной площадки в реальном времени с применением инновационных технологий дает полную картину для предупреждающих мероприятий по обеспечению безопасности труда [68].

Машины и оборудование. Одними из основных факторов, представляющих опасность, также можно выделить машины, оборудование и их опасные зоны работ. Опасная зона – пространство, в котором на человека воздействуют опасности исходящие от машины или оборудования [69]. По данным Роструда за 2023 г. происшествия, связанные с наездом на работников, ДТП, воздействием движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов, деталей, машин и т.д. на работников, падением грузов, являются одними из наиболее распространенных видов несчастных случаев [3].

Средства защиты. Одним из обязательных мероприятий системы управления безопасностью труда является обеспечение работников средствами коллективной и индивидуальной защиты от воздействия опасных и вредных производственных факторов для сохранения их здоровья, работоспособности и высокой производительности. В соответствии с ТК РФ работодатель должен за счет собственных средств обеспечить работников средствами индивидуальной и коллективной защиты для обеспечения безопасных условий труда [19].

Опасные виды работ. На предприятии по приказу работодателя утверждается перечень опасных видов работ, которые требуют тщательного отбора работников с соответствующими навыками и четкую организацию мер безопасного ведения работ. В связи с повышенной опасностью, необходимо внимательно следить за процессом ведения таких работ.

2.3. Разработка математической модели системы контроля безопасности труда на строительной площадке с учетом динамики производства работ

Представленные критерии охватывают весь спектр происшествий на строительной площадке, в результате которых работники могут получить травмы или погибнуть. Важно отметить, что критерии отражают целостную картину состояния объекта строительства [16]. Однако, критерии, представленные в подразделе 2.2, имеют разную измеримость, которая может быть выражена как в качественном эквиваленте, так и в количественном. Для унификации и ранжирования значений мы предлагаем шкалу, которая будет выражаться диапазоном и маркировкой цветом. На рисунке 2.6 представлен пример такой шкалы.

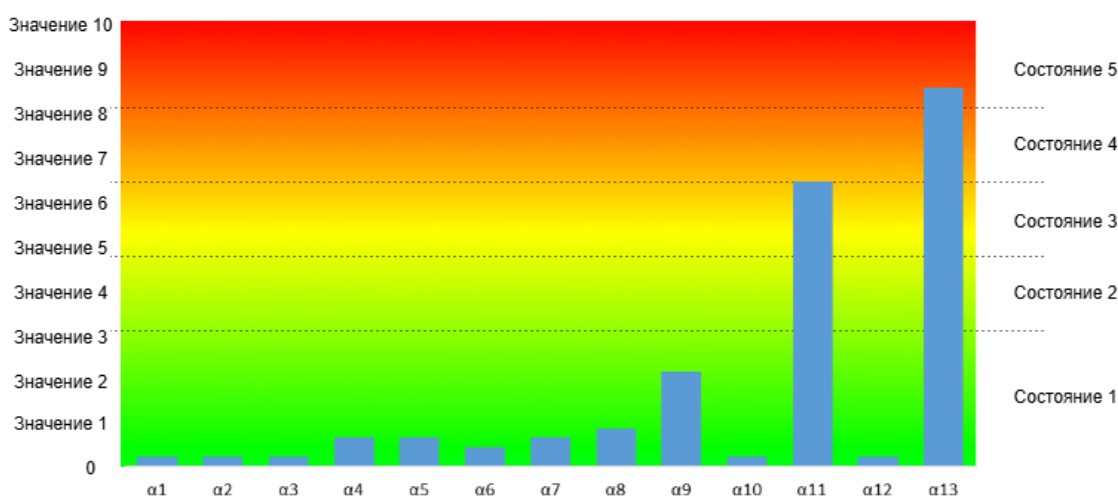


Рисунок 2.6 – Пример шкалы оценки состояния уровня безопасности

α_n – факторы (события), порождающие отказ элемента.

Измеримые критерии, например, «Фактическое состояния рабочего места», возможно связать с классами условий труда при условии, что специальная оценка условий труда проводилась. Таким образом, на основе карт рабочих мест условий труда, которые будут служить эталонными значениями, созданная нами цифровая система контроля сможет различать уровень безопасности для отслеживания нарушений.

Каждый критерий из таблицы 2.1 представлен в виде дерева отказов (Приложение А) для более точного и полного предоставления информации о выявленных нарушениях или отклонениях, представляющие угрозу для жизни и здоровья персонала в будущем. На рисунке 2.7 представлено дерево отказов критерия «Машины и оборудование» [16].

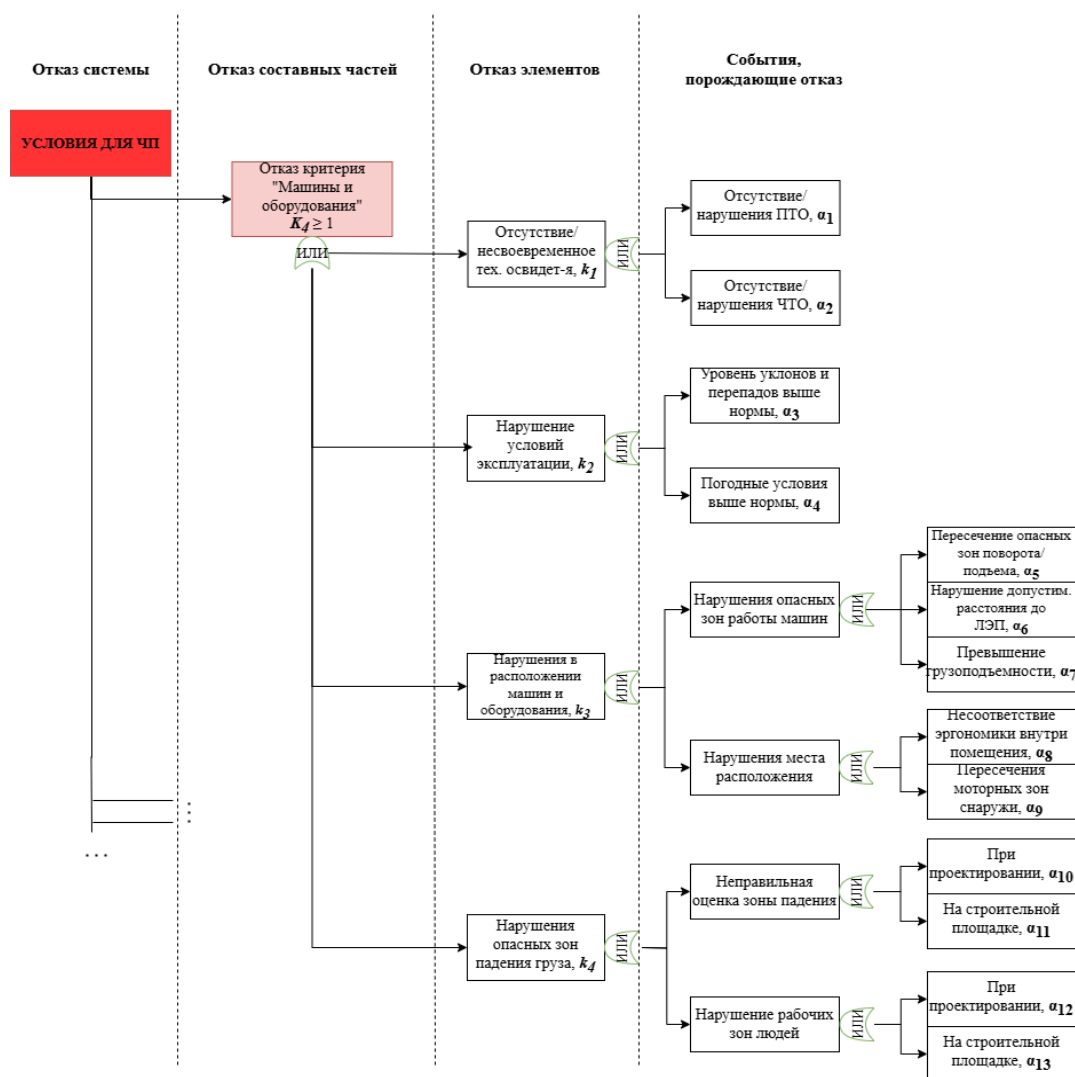


Рисунок 2.7 – «Дерево отказов» критерия «Машины и оборудование» [16]

В основе вероятностной модели лежит дерево отказов, другими словами, это метод анализа сложных систем на основе причинно-следственной связей отказов системы с отказами ее составных частей, элементов и другими событиями, порождающими отказ. Для описания сложной системы следует разбить ее на подсистемы и создать дерево отказов для каждой подсистемы [16]. Имеется простая подсистема критерия «Машины и оборудование». Основными элементами такого дерева отказов являются:

- отсутствие/несвоевременное техническое освидетельствование;
- нарушение условий эксплуатации;
- нарушения в расположении машин и оборудования;
- нарушения опасных зон падения груза.

Событиями, которые ведут к отказу элементов, являются:

- отсутствие/нарушения ПТО;
- отсутствие/нарушения ЧТО;
- уровень уклонов и перепадов выше нормы;
- погодные условия;
- нарушения опасных зон работы машин;
- нарушения места расположения;
- неправильная оценка зоны падения груза;
- не был пройден первичный инструктаж;
- нарушения рабочих зон людей.

Анализ дерева отказов направлен на выявление минимально необходимых и достаточных условий для возникновения или не возникновения отказов элементов [16].

Для создания математической модели контроля безопасности труда и описания математического аппарата, который применим к сложным человеко-машинным системам, наиболее удобным, с точки зрения возможностей анализа систем, является аппарат теории полумарковских процессов.

Достоинством применения математического аппарата теории полумарковских процессов является то, что они позволяют моделировать функционирование сложных систем и случайные процессы.

Так, для описания процесса контроля (с конечным множеством состояний) за состоянием уровня безопасности на строительной площадке, в режиме реального времени, подходит метод описания с непрерывным временем, который рассматривает интервалы времени между переходами системы из одного состояния в другое, и их направления носят случайный характер [16].

Для сложных и больших моделей целесообразно использовать мнемоническое правило составления дифференциальных уравнений с ориентированным графом состояний [16].

Граф состояний, характеризующий рассматриваемые составные части системы контроля безопасности труда на строительной площадке при, так называемом, пассивном контроле, представлен на рисунке 2.8.

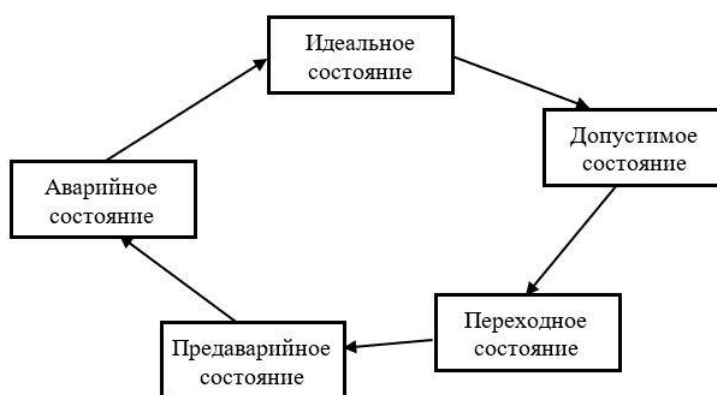


Рисунок 2.8 – Граф переходов между состояниями обеспечения безопасности труда на объекте строительства при пассивном контроле процесса [70]

Предлагается различать следующие основные состояния объекта с точки зрения безопасности труда, исходя из классификации [16, 67, 71]:

- *Идеальное состояние* – 1, негативные факторы отсутствуют, все условия обеспечения безопасности труда соблюдены, контролируемые показатели производственной среды находятся в нижних границах пределов,

установленных в нормативных правовых актах, допустимых величин и контроль состояния безопасности осуществляется в «штатном» режиме [70].

- *Допустимое состояние* – 2, негативные факторы имеются, но не выходят за пределы нормативных значений, осуществляется контроль значений соответствующих параметров производственных процессов с фиксированием времени пребывания в данном состоянии [70].

- *Переходное состояние* – 3, негативные факторы присутствуют, причем некоторые из них переходят незначительно переходят границу допустимых значений, оставаясь в рамках заданных интервалов отклонений. Система информационной поддержки управления фиксирует время и/или скорость начала изменений контролируемых параметров из *переходного* - 3 в *предаварийное* - 4 состояние, сообщая информацию об угрозе ЧП через систему оповещения (индивидуальные гаджеты) [70].

- *Предаварийное состояние* – 4, негативные факторы значительно превышают допустимые границы, не укладываясь в установленные заданные величины отклонений. Система информационной поддержки управления подает сигнал об угрозе жизни и здоровью работника, и выдает рекомендации, например - осуществить остановку процесса выполнения работ [70].

- *Аварийное состояние* – 5 (авария или ЧП). Предпринимаются необходимые меры к *полному* устранению всех нарушений (негативных факторов) и возвращения объекта в идеальное состояние. Система информационной поддержки управления сигнализирует в спасательные службы о происшествии и подает всеобщий сигнал «тревоги», через системы оповещения [70].

Под пассивным контролем подразумевается постоянный контроль за процессом, практически без вмешательства в его ход. Нами предложена усовершенствованная модель, которая предполагает возможность превентивного вмешательства в процесс на переходной и предаварийной стадиях путем опережающего проведения комплекса соответствующих мероприятий по улучшению негативных показателей (улучшению состояния

процесса) (см. рис. 2.9) [66]. Другими словами, усовершенствованная модель представляет собой систему информационной поддержки принятия решений для предотвращения развития негативных событий на объекте строительства, т.к. решение о превентивном вмешательстве в процесс определяется лицом, принимающим решение (далее – ЛПР).

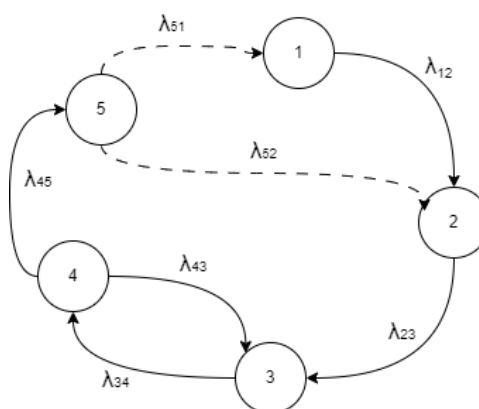


Рисунок 2.9 – Граф перехода между состояниями объекта [66]

Формальная модель на рисунке 2.9 должна отвечать следующим положениям:

- любое состояние безопасности труда на строительной площадке является дискретным;
- процессы обуславливают переход между состояниями с некоторыми интенсивностями.

Необходимо учесть, что вмешательство в ход процесса, зачастую, может быть и не влияющее на основной рабочий процесс, а также может потребовать значительного расхода дополнительных ресурсов [66].

Процесс переходов из одного состояния в другое является марковским. Получение вероятностных характеристик для такого процесса связано с решением системы дифференциальных уравнений, что является подходящим только для стационарного случая. В рассматриваемом случае речь идет о контроле и управлении процессом, в частности об оценке среднего времени до попадания в аварийного состояние 5 (авария, устранение последствий,

восстановление и др.), которая в рамках данной математической модели будет считаться поглощающим. В этом конкретном случае более разумно использовать аппарат полумарковских процессов [72].

Исходя из переходов между состояниями, представленных на рисунке 2.9, построим вложенную матрицу переходов для полумарковского процесса $P = (p_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots, 5$, а также матрицу условных времен пребывания системы в состояниях $M = (m_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots, 5$ [66]:

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{43} + \lambda_{45}} & 0 & \frac{\lambda_{45}}{\lambda_{43} + \lambda_{45}} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (2.1)$$

где p_{ij} – вероятность прямого перехода системы из состояния i в состояние j .

$$M = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{\lambda_{12}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\lambda_{23}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\lambda_{34}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\lambda_{43}} & 0 & \frac{1}{\lambda_{45}} \\ \frac{1}{\lambda_{51}} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (2.2)$$

где m_{ij} – среднее время пребывания системы в состоянии i при условии последующего прямого перехода системы в состояние j .

Используя формулу $t_i = \sum_{j=1}^5 p_{ij} \cdot m_{ij}$, $i = 1, 2, \dots, 5$ [71], можем получить вектор значений средних времен пребывания в каждом из состояний [66]:

$$t_1 = \frac{1}{\lambda_{12}}, \quad t_2 = \frac{1}{\lambda_{23}}, \quad t_3 = \frac{1}{\lambda_{34}}, \quad t_4 = \frac{2}{(\lambda_{43} + \lambda_{45})}, \quad (2.3)$$

где t_n – среднее время пребывания в состоянии n .

Далее введем в рассмотрение вектор средних времен до попадания системы в аварийное состояние $\bar{T} = (T_1, T_2, T_3, T_4)$ при условии, что в настоящий момент времени система находится в состоянии i ($i=1, 2, 3, 4$), т.к. для возможности опережающего управления безопасностью целесообразно ориентироваться на значение среднего времени до наступления аварийного

состояния 5. Тогда, для нашего случая, в соответствии с [72] и с учетом соотношений (2.1)-(2.3) можно записать следующую систему уравнений [66]:

$$\begin{cases} T_1 = t_1 + T_2 = \frac{1}{\lambda_{12}} + T_2 \\ T_2 = t_2 + T_3 = \frac{1}{\lambda_{23}} + T_3 \\ T_3 = t_3 + T_4 = \frac{1}{\lambda_{34}} + T_4 \\ T_4 = t_4 + p_{43} \cdot T_3 = \frac{2}{\lambda_{43} + \lambda_{45}} + \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{43} + \lambda_{45}} T_3 \end{cases}, \quad (2.4)$$

Решая систему уравнений (2.4), получаем [66]:

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{1}{\lambda_{12}} + \frac{1}{\lambda_{23}} + \left(1 + \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{45}}\right) \frac{1}{\lambda_{34}} + \frac{1}{\lambda_{45}} \left(2 + \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{34}}\right) \\ T_2 &= \frac{1}{\lambda_{23}} + \left(1 + \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{45}}\right) \frac{1}{\lambda_{34}} + \frac{1}{\lambda_{45}} \left(2 + \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{34}}\right) \\ T_3 &= \left(1 + \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{45}}\right) \frac{1}{\lambda_{34}} + \frac{1}{\lambda_{45}} \left(2 + \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{34}}\right) \\ T_4 &= \frac{1}{\lambda_{45}} \left(2 + \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{34}}\right) \end{aligned}, \quad (2.5)$$

Замечание 1. Из формул (2.5) достаточно очевидно, что существенное влияние на время до аварии имеет отношение $\frac{\lambda_{43}}{\lambda_{45}}$, которое в значительной степени зависит от времени (интенсивности) формирования управляющих воздействий по опережающему управлению уровнем безопасности объекта [66].

Рассмотрим случай, когда в состоянии 3 можно реализовывать комплекс превентивных мероприятий по улучшению условий труда. Тогда рисунок 2.9 приобретает следующий вид, показанный на рисунке 2.10 [66].

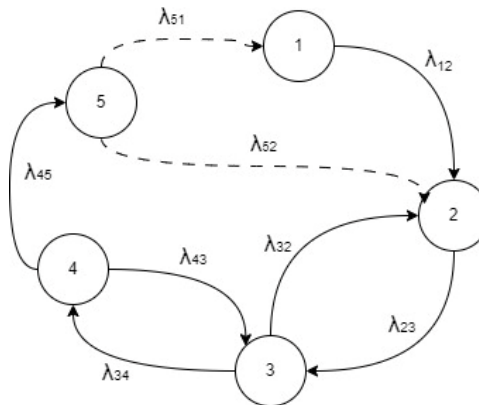


Рисунок 2.10 – Модифицированный граф перехода между состояниями объекта (различными уровнями безопасности) [66]

По аналогии с предыдущим случаем исходя из переходов между состояниями, представленными на рисунке 2.10, можно также построить новую вложенную матрицу переходов для полумарковского процесса Р и матрицу условных времен пребывания системы в состояниях М [66]:

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\lambda_{32}}{\lambda_{32}+\lambda_{34}} & 0 & \frac{\lambda_{34}}{\lambda_{32}+\lambda_{34}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{43}+\lambda_{45}} & 0 & \frac{\lambda_{45}}{\lambda_{43}+\lambda_{45}} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (2.6)$$

$$M = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{\lambda_{12}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\lambda_{23}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\lambda_{32}} & 0 & \frac{1}{\lambda_{34}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\lambda_{43}} & 0 & \frac{1}{\lambda_{45}} \\ \frac{1}{\lambda_{51}} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2.7)$$

Снова используем формулу $t_i = \sum_{j=1}^5 p_{ij} \cdot m_{ij}, i = 1, 2, \dots, 5$ для получения вектор значений средних времен пребывания в каждом из состояний [66]:

$$t_1 = \frac{1}{\lambda_{12}}, \quad t_2 = \frac{1}{\lambda_{23}}, \quad t_3 = \frac{2}{(\lambda_{32}+\lambda_{34})}, \quad t_4 = \frac{2}{(\lambda_{43}+\lambda_{45})}. \quad (2.8)$$

Аналогично формуле (2.4) составим систему уравнений для средних времен до попадания системы в аварийное состояние при условии, что в настоящий момент времени система находилась в состоянии i ($i=1, 2, 3, 4$). Тогда для нашего случая можно записать следующую систему уравнений [66]:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1 = t_1 + T_2 = \frac{1}{\lambda_{12}} + T_2 \\ T_2 = t_2 + T_3 = \frac{1}{\lambda_{23}} + T_3 \\ T_3 = t_3 + p_{32} \cdot T_2 + p_{34} \cdot T_4 = \frac{2}{\lambda_{32}+\lambda_{34}} + \frac{\lambda_{32}}{\lambda_{32}+\lambda_{34}} T_2 + \frac{\lambda_{34}}{\lambda_{32}+\lambda_{34}} T_4 \\ T_4 = t_4 + p_{43} \cdot T_3 = \frac{2}{\lambda_{43}+\lambda_{45}} + \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{43}+\lambda_{45}} T_3 \end{array} \right. \quad (2.9)$$

Замечание 2. Система уравнений (2.9) отличается от системы уравнений (2.4) появлением дополнительного (второго) слагаемого при определении

значения T_3 , что обусловлено возможным опережающим управлением уровнем безопасности объекта (принятию некоторых превентивных мер в переходном состоянии 3) [66].

Подставляя T_2 и T_4 из второго и четвертого уравнений в третье уравнение системы (2.9) получаем [66]:

$$T_3 = \frac{2}{\lambda_{32} + \lambda_{34}} + \frac{\lambda_{32}}{\lambda_{32} + \lambda_{34}} \left(\frac{1}{\lambda_{23}} + T_3 \right) + \frac{\lambda_{34}}{\lambda_{32} + \lambda_{34}} \left(\frac{2}{\lambda_{43} + \lambda_{45}} + \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{43} + \lambda_{45}} T_3 \right). \quad (2.10)$$

Откуда получаем [66]:

$$T_3 = \left(\frac{2}{\lambda_{34}} + \frac{1}{\lambda_{23}} \cdot \frac{\lambda_{32}}{\lambda_{34}} \right) \left(\frac{\lambda_{43}}{\lambda_{45}} + 1 \right) + \frac{2}{\lambda_{45}}. \quad (2.11)$$

Подставляя в (2.9), получаем [66]:

$$T_4 = \frac{2}{\lambda_{45}} + \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{45}} \cdot \left(\frac{2}{\lambda_{34}} + \frac{1}{\lambda_{23}} \cdot \frac{\lambda_{32}}{\lambda_{34}} \right), \quad (2.12)$$

$$T_2 = \frac{1}{\lambda_{23}} + \left(\frac{2}{\lambda_{34}} + \frac{1}{\lambda_{23}} \cdot \frac{\lambda_{32}}{\lambda_{34}} \right) \left(\frac{\lambda_{43}}{\lambda_{45}} + 1 \right) + \frac{2}{\lambda_{45}}, \quad (2.13)$$

$$T_1 = \frac{1}{\lambda_{12}} + \frac{1}{\lambda_{23}} + \left(\frac{2}{\lambda_{34}} + \frac{1}{\lambda_{23}} \cdot \frac{\lambda_{32}}{\lambda_{34}} \right) \left(\frac{\lambda_{43}}{\lambda_{45}} + 1 \right) + \frac{2}{\lambda_{45}}. \quad (2.14)$$

Замечание 3. Из формул (2.11)-(2.14) очевидно, что существенное влияние на время до аварии имеют во втором случае уже два отношения $\frac{\lambda_{32}}{\lambda_{34}}$ и $\frac{\lambda_{43}}{\lambda_{45}}$, которые характеризуют интенсивность формирования воздействий по опережающему управлению уровнем безопасности труда для состояний 3 (переходного) и 4 (предаварийного) [66].

Опишем общие особенности модели и некоторые допущения:

1. Для получения оценки характеристик переходного и предаварийного состояния системы, приведенного на рисунке 2.8, будем полагать, что время нахождения контролируемого объекта в каком-либо основном состоянии распределено по экспоненциальному закону, так как на основе значения среднего времени нахождения в состоянии, полученного из статистики, можно вычислить соответствующие интенсивности переходов (марковская модель с непрерывным временем) [70].

2. Однако введение в модель двух дополнительных состояний, переходы в которые из основных состояний могут быть регламентированы некоторым

набором правил, указывает на необходимость перехода к полумарковскому процессу, как более адекватной модели функционирования реального объекта [70].

3. Превентивное выполнение работ по улучшению негативных показателей может перевести объект только в допустимое состояние, т.к. для перевода объекта в идеальное состояние требуется его полная остановка. При этом, как и в п. 1, будем полагать, что время нахождения объекта в каком-либо *дополнительном* состоянии также распределено по экспоненциальному закону [70].

Превентивное выполнение комплекса работ по улучшению негативных показателей требует введения еще двух дополнительных состояний: состояния небольшого улучшения негативных показателей, при условии, что объект находится в переходном состоянии, и состояния значительного улучшения негативных показателей, при условии, что объект находится в предаварийном состоянии [70].

Обозначим: 1 – идеальное состояние; 2 – допустимое состояние; 3 – переходное состояние; 4 – первое дополнительное состояние; 5 – предаварийное состояние; 6 – второе дополнительное состояние; 7 – аварийное состояние [70].

Тогда усовершенствованный граф состояния объекта и вероятности переходов выглядят следующим образом (см. рис. 2.11) [70]:

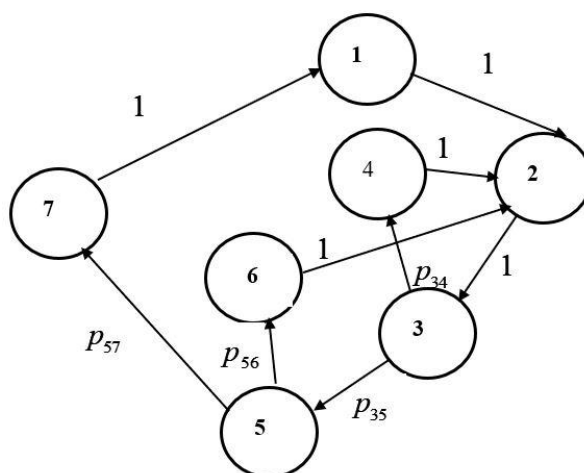


Рисунок 2.11 – Усовершенствованный граф состояния объекта и вероятности переходов [70]

По рисунку 2.11 построим вложенную матрицу переходов для полумарковского процесса $P = (p_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots, 7$:

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{34} & p_{35} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{56} & p_{57} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (2.15)$$

Переход из состояния 3 в состояние 4 является некоторым управлением процессом обеспечения безопасности труда на объекте и, поэтому, должен быть регламентирован соответствующим образом (правилами, инструкциями и др.). Если необходимость перехода из состояния 3 в состояние 4 является «мягким», т.е. зависит от значений текущих параметров (практически отдано соответствующему ЛПР), то использование интенсивности – правомерно. Заметим, что значение интенсивности перехода из состояния 3 в 4, в значительной степени будет зависеть от личных особенностей ЛПР. В тех редких практических случаях, когда регламентация перехода из состояния 3 в состояние 4 является «жесткой» (например, по времени), то использование интенсивности для описания соответствующего перехода является неправомерным [70].

Переход из состояния 5 в состояние 6 также является некоторым управлением процессом обеспечения безопасности труда на объекте и, поэтому, также должен быть регламентирован соответствующим образом (правилами, инструкциями и др.). Если регламентация перехода из состояния 5 в состояние 6 является «жесткой» (по времени или по вероятности), то использование интенсивности является неправомерным. Под «жесткой» регламентацией понимается задание максимального интервала времени T , в течение которого строительный объект может находиться в состоянии 5, при условии, что он за это время не перешел в состояние 7. В этом случае, спустя время T после попадания объекта в предаварийное состояние 5 должно осуществляться «опережающее» вмешательство в трудовой процесс, направленное на улучшение состояния безопасности труда на объекте [70].

Если же необходимость перехода из состояния 5 в состояние 6 зависит от многих факторов (текущих параметров, возможностей строительной площадки и др.), т.е. является «мягкой», то использование интенсивности является правомерным [70].

На рисунке 2.12 приведен усовершенствованный граф интенсивности переходов между состояниями процесса в предположении о «мягком» управлении безопасностью труда на строительном объекте [70].

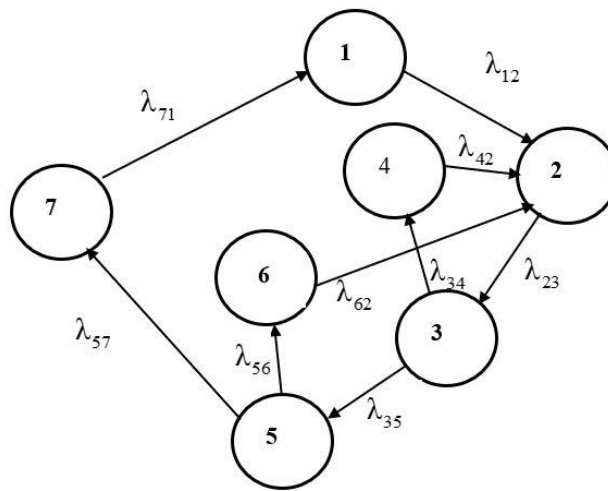


Рисунок 2.12 – Усовершенствованный граф состояний и интенсивности переходов [70]

Для усовершенствованного графа, приведенного на рисунке, вложенная матрица переходов для полумарковского процесса $P = (p_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots, 7$, приобретает следующий вид [70]:

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\lambda_{34}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} & \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\lambda_{56}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}} & \frac{\lambda_{57}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (2.16)$$

В нашем конкретном случае речь идет о контроле и управлении процессом обеспечения безопасности труда, в частности, об улучшении характеристик безопасности объекта, основанных на стоимостных выражениях величин, например, устранения последствий различных аварий и случаев травматизма, и последующего восстановления [70, 73, 74].

Далее оценим предельные вероятности для вложенной марковской цепи.

Вектор стационарных вероятностей $\bar{\pi} = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_7), \pi_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, 7$ для вложенной марковской цепи, описываемой матрицей (2.15) или (2.16) можно найти из решения системы уравнений (2.17) [70]:

$$\begin{cases} \bar{\pi}P = \bar{\pi}; \\ \sum_{i=1}^7 \pi_i = 1 \end{cases} \quad (2.17)$$

Расписывая систему уравнений (2.17) для матриц вида (2.15) и (2.16) соответственно, по отдельным компонентам, получаем [70]:

$$\begin{cases} \pi_1 = \pi_7 \\ \pi_2 = \pi_1 + \pi_4 + \pi_6 \\ \pi_3 = \pi_2 = \pi_1 + \pi_4 + \pi_6 \\ \pi_4 = \pi_3 \cdot p_{34} \\ \pi_5 = \pi_3 \cdot p_{35} \\ \pi_6 = \pi_5 \cdot p_{56} \\ \pi_7 = \pi_5 \cdot p_{57} \\ \sum_{i=1}^7 \pi_i = 1 \end{cases} \quad \begin{cases} \pi_1 = \pi_7 \\ \pi_2 = \pi_1 + \pi_4 + \pi_6 \\ \pi_3 = \pi_2 = \pi_1 + \pi_4 + \pi_6 \\ \pi_4 = \frac{\lambda_{34}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \pi_3 \\ \pi_5 = \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \pi_3 \\ \pi_6 = \frac{\lambda_{56}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}} \pi_5 \\ \pi_7 = \frac{\lambda_{57}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}} \pi_5 \\ \sum_{i=1}^7 \pi_i = 1 \end{cases} \quad (2.18)$$

Решая приведенные системы уравнений, получаем соответствующие решения для общего случая (2.19) и для случая «мягкого» управления (2.20) [70]:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \frac{p_{35} \cdot p_{57}}{3 + p_{35} + p_{35} \cdot p_{57}}, \quad \pi_2 = \frac{1}{3 + p_{35} + p_{35} \cdot p_{57}}, \\ \pi_3 &= \frac{1}{3 + p_{35} + p_{35} \cdot p_{57}}, \quad \pi_4 = \frac{p_{34}}{3 + p_{35} + p_{35} \cdot p_{57}}, \\ \pi_5 &= \frac{p_{35}}{3 + p_{35} + p_{35} \cdot p_{57}}, \quad \pi_6 = \frac{p_{35} \cdot p_{56}}{3 + p_{35} + p_{35} \cdot p_{57}}, \\ \pi_7 &= \frac{p_{35} \cdot p_{57}}{3 + p_{35} + p_{35} \cdot p_{57}} \end{aligned}$$

(2.19)

$$\begin{aligned}
\pi_1 &= \frac{\frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \cdot \frac{\lambda_{57}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}}}{3 + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \cdot \frac{\lambda_{57}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}}}, \\
\pi_2 &= \frac{1}{3 + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \cdot \frac{\lambda_{57}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}}}, \\
\pi_3 &= \frac{1}{3 + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \cdot \frac{\lambda_{57}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}}}, \\
\pi_4 &= \frac{\frac{\lambda_{34}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}}}{3 + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \cdot \frac{\lambda_{57}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}}}, \\
\pi_5 &= \frac{\frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}}}{3 + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \cdot \frac{\lambda_{57}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}}}, \\
\pi_6 &= \frac{\frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \cdot \frac{\lambda_{56}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}}}{3 + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \cdot \frac{\lambda_{57}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}}}, \\
\pi_7 &= \frac{\frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \cdot \frac{\lambda_{57}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}}}{3 + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \cdot \frac{\lambda_{57}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}}}
\end{aligned}$$

(2.20)

Для управления предотвращением рисков введем коэффициент $K_{\text{опр}}$ и назовем его коэффициентом опережающего предотвращения рисков безопасности. Под $K_{\text{опр}}$ будем понимать вероятность того, что процесс из данного состояния перейдет в состояние превентивного выполнения работ по улучшению негативных показателей (устранению выявленных недостатков в обеспечении безопасности трудовой деятельности) [70].

В общем случае, исходя из вида графа, приведенного на рисунке 2.11, а также матрицы (2.15), коэффициенты опережающего предотвращения рисков –

$K_{\text{опр}}$ есть не что иное, как значения вероятностей p_{34} и p_{56} . Для нормального управления процессом предотвращения рисков необходимо проанализировать особенности предотвращения рисков в каждом из рассматриваемых состояний: состоянии 3 – переходном и состоянии 5 – предаварийном [70].

Полагая, что цифровая система контроля безопасности труда является системой информационной поддержки принятия решений, которая предоставляет соответствующему ЛПР не только текущую информацию о состоянии процесса, но и рекомендации для его управления, необходимо сформулировать некоторые правила по управлению безопасностью для каждого из вышеперечисленных состояний, т.е. правила по которым определяется необходимость перехода в состояние «превентивного» выполнения работ по обеспечению безопасности (для состояния 3 – это состояние 4, а для состояния 5 – это состояние 6) [70].

Основной особенностью состояния 3 является то, что в этом состоянии несмотря на то, что оно является переходным, показатели безопасности находятся в допустимой зоне, и поэтому, ЛПР может недостаточно адекватно воспринимать рекомендации системы информационной поддержки принятия решений по конкретному вмешательству в процессы, реализуемые на строительном объекте. Таким образом, в этом случае необходимо использовать «мягкое» управление, ограничиваясь некоторыми рекомендациями и оставляя за ЛПР свободу выбора в каждой конкретной ситуации. Однако, при этом следует задать некоторое значение соответствующего коэффициента опережающего предотвращения рисков $K_3 = p_{34}$ и относительно этого значения давать предварительные рекомендации. По всей видимости значение должно быть не менее 0,1, но не должно превышать 0,2 [70].

В противоположность вышесказанному особенностью состояния 5 является его предаварийность, что требует особого внимания от ЛПР, который в данном случае будет в значительной степени полагаться на советы, получаемые от системы информационной поддержки принятия решений. Эта особенность состояния 5 требует, в свою очередь, четкого правила, определяющего

необходимость реализации перехода из состояния 5 в состояние 6. Формализация этого правила может быть реализована путем управления по времени, т.е. через определенное время пребывания в состоянии 5 необходимо перейти в состояние 6, если, разумеется, до этого момента процесс не перешел в состояние 7 - аварийное. При задании длительности этого интервала времени необходимо руководствоваться коэффициентом опережающего предотвращения рисков - K_5 , т.е. задать вероятность того, что переход будет реализован в состояние 5, а не в состояние 6. На использовании заданного значения K_5 основано вычисление длительности интервала времени до «управляющего» воздействия - T_5 , переводящего процесс в состояние 6 [70].

Тогда, для вложенной матрицы из соотношения (2.19) с учетом того, что $p_{34} = K_3$, $p_{35} = 1 - K_3$, $p_{56} = K_5$, $p_{57} = 1 - K_5$, получаем [70]:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \frac{(1 - K_3) \cdot (1 - K_5)}{5 - 2K_3 - K_5 + K_3 \cdot K_5}, & \pi_2 &= \frac{1}{5 - 2K_3 - K_5 + K_3 \cdot K_5}, \\ \pi_3 &= \frac{1}{5 - 2K_3 - K_5 + K_3 \cdot K_5}, & \pi_4 &= \frac{K_3}{5 - 2K_3 - K_5 + K_3 \cdot K_5}, \\ \pi_5 &= \frac{1 - K_3}{5 - 2K_3 - K_5 + K_3 \cdot K_5}, & \pi_6 &= \frac{(1 - K_3) \cdot K_5}{5 - 2K_3 - K_5 + K_3 \cdot K_5}, \\ \pi_7 &= \frac{(1 - K_3) \cdot (1 - K_5)}{5 - 2K_3 - K_5 + K_3 \cdot K_5} \end{aligned} \quad (2.21)$$

Для случая «мягкого» управления, предполагая, что значение интенсивности λ_{35} нам известно (из статистики или на основе экспертных оценок специалистов), можно получить значение интенсивности для мягкого управления $\lambda_{34} = \frac{K_3}{1 - K_3} \cdot \lambda_{35}$, что с учетом наших предположений означает выполнение двустороннего неравенства $0,1 \cdot \lambda_{35} \leq \lambda_{34} \leq 0,25 \cdot \lambda_{35}$, что немаловажно для определения среднего времени нахождения в состоянии «мягкого» управления [70].

Учитывая тот факт, что для экспоненциального распределения времени нахождения процесса в состоянии 5 (см. рис. 3) вероятность того, что за время T_5

процесс не перейдет в состояние 7, есть $K_5 = \exp(-\lambda_{57} \cdot T_5)$, можно получить явное выражение для $T_5 = -\frac{1}{\lambda_{57}} \ln(K_5)$. Очевидно, что при достаточно больших K_5 (близких к 1) процесс следует переводить в состояние 6, практически сразу после попадания в состояние 5 [70].

Полученные соотношения для «мягкого» и «жесткого» управления позволяют перейти к оценке средних времен пребывания в состояниях для процесса в целом [70].

Рассмотрим оценку времен пребывания в различных состояниях для модели. Составим также матрицу условных времен пребывания системы в состояниях $M = (m_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots, 7$, в предположении об экспоненциальном характере всех изменений основных состояний с учетом возможных управляющих воздействий [70].

$$M = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{\lambda_{12}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\lambda_{23}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{(1-K_3)}{(K_3 \cdot \lambda_{35})} & \frac{1}{\lambda_{35}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\lambda_{42}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{56} & m_{57} \\ 0 & \frac{1}{\lambda_{62}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{\lambda_{71}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (2.22)$$

Принимая во внимание выражение $T_5 = -\frac{1}{\lambda_{57}} \ln(K_5)$ получаем $m_{56} = T_5$:

$$m_{57} = \frac{1-K_5(1-\ln(K_5))}{\lambda_{57}}, \quad (2.23)$$

Используя соотношение $m_i = \sum_{j=1}^7 p_{ij} \cdot m_{ij}$, $i = 1, 2, \dots, 7$ из [72], получим вектор значений средних времен пребывания в каждом из состояний [70]:

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{1}{\lambda_{12}}, \quad m_2 = \frac{1}{\lambda_{23}}, \quad m_3 = \frac{2(1-K_3)}{\lambda_{35}}, \quad m_4 = \frac{1}{\lambda_{42}}, \\ m_5 &= \frac{(1-K_5)^2}{\lambda_{57}} - \frac{K_5^2}{\lambda_{57}} \ln(K_5), \quad m_6 = \frac{1}{\lambda_{62}}, \quad m_7 = \frac{1}{\lambda_{71}} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Для рассматриваемого полумарковского процесса, описывающего состояния объекта с точки зрения безопасности труда, стационарные вероятности нахождения в состояниях, которые можно интерпретировать как долю времени нахождения в состояниях, можно вычислять по формуле [70]:

$$p_i = \frac{\pi_i m_i}{\sum_{i=1}^7 \pi_i m_i}, \quad (2.25)$$

Равенство единице коэффициента опережающего предотвращения рисков ($K_3 = 1$) указывает (в соответствии с формулами (2.24)) на то, что сразу после попадания в состояние 3 объект переводится в состояние 4, т.е. сразу (параллельно с выполнением основных строительных работ) начинаются работы по устранению опасностей. В этом случае, в соответствии с графом переходов, приведенном на рисунке 2.11, начинается некоторый вложенный цикл между состояниями 2 и 4, т.к. состояния 1 и 3 становятся виртуальными [70].

Равенство единице коэффициента опережающего предотвращения рисков ($K_5 = 1$) указывает (в соответствии с формулами (2.24)) на то, что сразу после попадания в состояние 5 объект переводится в состояние 6 (см. рис. 2.11), т.е. сразу (по возможности параллельно с выполнением основных строительных работ), начинаются работы по устранению опасностей. Это исключает, на модельном уровне, попадание объекта в аварийное состояние, что уменьшает число возможных рисков состояний [70].

Подводя итоги построения модели контроля безопасности труда, отметим:

- построена усовершенствованная модель, подробно описывающая процесс контроля и управления безопасностью труда на объекте строительства, и показаны её особенности [70];
- представлена вложенная матрица переходных вероятностей (2.15), и показан вектор средних времен пребывания строительного объекта в каждом из состояний (2.24) [70];

– составлена система уравнений для определения стационарных вероятностей для вложенной марковской цепи и получены соответствующие аналитические выражения (2.17)-(2.20) [70].

В качестве показателя, определяющего стратегию управления безопасностью труда на объекте строительства предложен коэффициент опережающего предотвращения рисков – $K_{\text{опр}}$ и получено аналитическое выражение для оценки доли времени нахождения объекта в каждом из состояний (2.25) [70].

В качестве примера рассмотрим реализацию модели контроля безопасности труда на случае переходов из одного состояния в другое при выполнении работ, связанных с повышенной опасностью – работы на высоте. Оценка будет проводиться по критерию «СИЗ» [16].

1 состояние – соответствует выполнению всех процедур, связанных с состоянием СИЗ для работы на высоте это - выдача, осмотр, технически исправное состояние, наличие сертификата соответствия требованиям ТР ТС, и др [70].

2 состояние – соответствует требованиям норм, но сроки эксплуатации (носки) близки к завершению, по критерии браковки (износа) условия выполняются, но есть ряд некритичных замечаний, например, небольшие потертости ленты силовой конструкции и текстильных точек присоединения [70].

3 состояние – например, допущено несоответствие СИЗ по критериям браковки – имеются критичные потертости ленты силовой конструкции и вытянутые нити силовой прошивки страховочной системы и стропа. На данном этапе, согласно предложенной модели контроля, должны быть предприняты меры по устранению несоответствий – система выдает сигнал о принятии мер по замене СИЗ и недопуске к работам на высоте [70].

4 состояние – работник выполняет работы на высоте, с применением СИЗ, которые характеризуются состоянием износа, описанным в состоянии 3. При нагрузках на страховочную систему, при производстве работ, происходит

ухудшение состояния СИЗ, например, вытягивание петель нитей силовой прошивки и нагрузка на истертые участки – тогда система информационной поддержки принятия решений выдает сигнал об остановке производства работ на высоте. Переход в 5 состояние недопустим [70].

Для целей организации систем информационной поддержки управления безопасностью труда предлагается использовать инструменты, позволяющие в режиме онлайн фиксировать нарушения требований охраны труда, обрабатывать эти данные и выдавать рекомендации, направленные на принятие превентивных мер. В качестве платформы для таких инструментов может применяться ТИМ на основе ЦД объекта строительства, в котором будет рассматриваться человеко-машинная среда как единая целая цифровая система [70, 75, 76].

2.4. Разработка алгоритма принятия решений для устранения несоответствий требованиям законодательства в области безопасности труда

Намерение состоит в том, чтобы автоматически идентифицировать динамические условия состояния рабочей среды при выполнении различных технологических операциях по мере строительства здания, определяя их местоположение в виртуальном трехмерном пространстве и интерактивно или автоматически предоставляя решения для предотвращения негативных последствий. Такая платформа также может функционировать как инструмент для обеспечения легкодоступной и понятной визуализации актуального прогресса строительства и уровня ее безопасности с течением времени, и, в частности, для обнаружения опасных мест на объекте. Анализ ситуации и выработка рекомендаций по обеспечению безопасности поможет персоналу выполнять меры безопасности с учетом параллельных работ на объекте. Это включает в себя планирование более безопасных задач и контроль запланированных задач на этапе строительства.

На основе построенной усовершенствованной модели системы информационной поддержки принятия решений разработан алгоритм функционирования цифровой системы контроля безопасности труда (см. рис. 2.13).

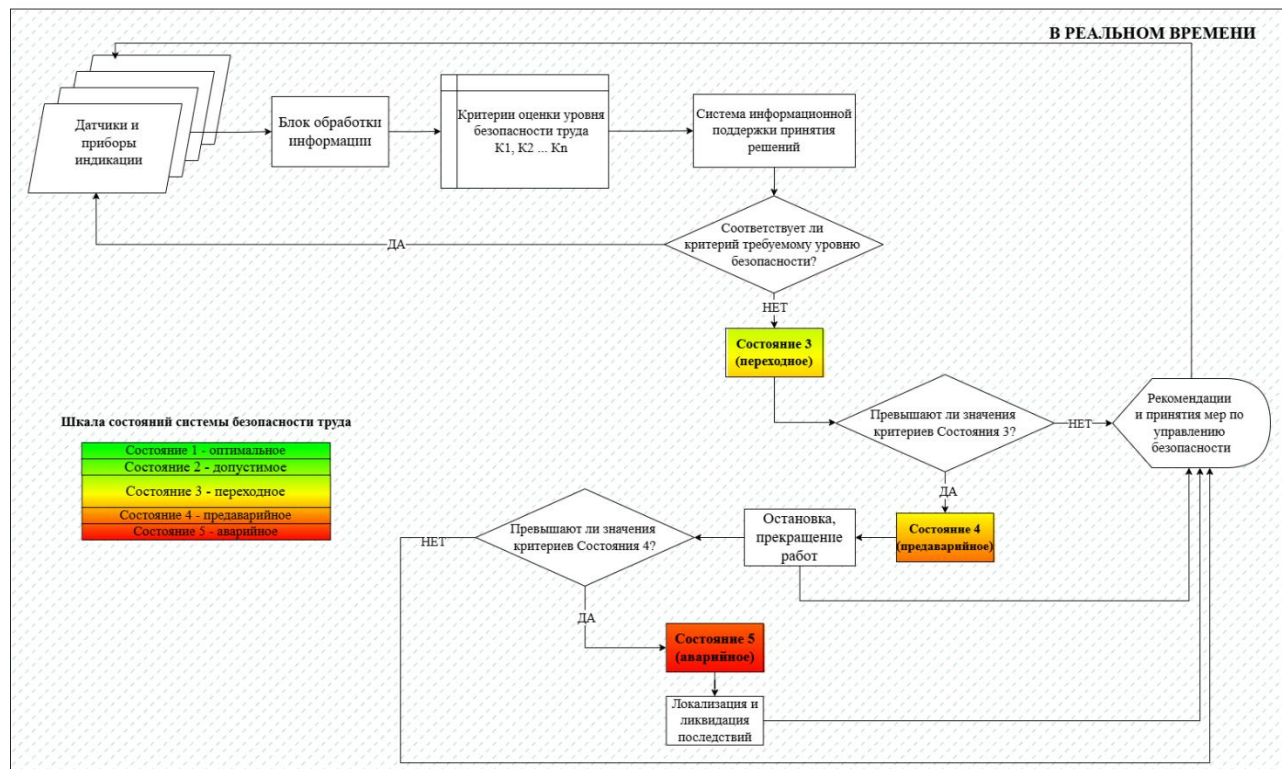


Рисунок 2.13 – Алгоритм функционирования цифровой системы контроля безопасности труда

Согласно блок-схеме на рисунке 2.13, в ходе выполнения строительных процессов первым шагом является сбор и анализ данных по строительству, включая структуру разбивки работ, графики и количество персонала, оборудования и проч.

Система датчиков может включать в себя как фото-видеофиксацию, с применением алгоритмов обработки поступающей информации с помощью искусственного интеллекта, так и датчиков, фиксирующих физическое состояние машин и механизмов, с точки зрения их надежности. Информация от датчиков поступает в систему информационной поддержки принятия решений, которая генерирует рекомендации ЛПР о целесообразности, виде (глубине и др.)

вмешательства в трудовой процесс с целью обеспечения безопасности труда на объекте строительства. При этом ЛПР, помимо информации от системы информационной поддержки принятия решений по управлению безопасностью труда, обладает информацией о рабочих процессах, реализуемых в конкретный момент на объекте. На основании всей имеющейся информации ЛПР должен принимать обоснованные решения о реализации и виде вмешательства в рабочий процесс, с целью снижения уровня опасностей [70].

Появление новых инновационных технологий и методов трансформирует процесс управления безопасностью на строительной площадке, дополняя его системами на основе датчиков. ТИМ предоставляет геометрическую информацию на уровне компонентов, а также позволяет эффективно управлять данными по различным аспектам объекта строительства. Таким образом, ТИМ является подходящей платформой для интеграции сенсорных систем управления безопасностью. Информация, полученная с помощью приборов индикации, может быть включена в ТИМ для мониторинга строительной площадки в режиме реального времени.

Учитывая, что идентификация опасностей – это процесс обнаружения объектов или ситуаций, которые потенциально могут причинить вред, внедрение системы мониторинга на основе датчиков для выявления опасностей в режиме реального времени является важным шагом на пути к автоматизированному управлению безопасностью.

Важно отметить, что уровень безопасности труда возможно повысить за счет своевременного выявления опасностей и уведомления ответственных лиц о необходимости принятия соответствующих мер. Кроме того, систему информационной поддержки принятия решений в режиме реального времени, которая будет уведомлять рабочих, операторов оборудования или машин об опасности, можно рассматривать как еще одну форму технического контроля, основанную на системе мониторинга на основе датчиков.

Беспилотные летательные аппараты (далее – БПЛА), мобильные инструменты взаимодействия с данными, лазерные сканеры и встроенные

датчики — вот несколько примеров технологий, которые могут собирать и передавать полевые данные, чтобы помочь в принятии решений в процессе строительства.

Стоит отметить последние достижения в области машинного обучения, компьютерного зрения, IoT, а также возросшая доступность и вычислительная мощность передовых технологий.

Также, пренебрежение работниками правилам безопасности труда часто проявляется в отсутствии надлежащего использования средств индивидуальной защиты. Последние достижения в области компьютерного зрения и машинного обучения предоставляют мощные инструменты для обнаружения объектов с помощью изображений [77-79]. С появлением БПЛА внедрено и применено дистанционного зондирования на основе зрения для автоматического и эффективного мониторинга использования СИЗ работниками с целью снижения смертей и травм. Наиболее распространенным методом проверки использования сотрудниками надлежащих СИЗ является технология обнаружения объектов.

Отслеживание местоположения осуществляется с помощью системы отслеживания местоположения в реальном времени на основе RFID, где RFID-метки устанавливаются на каски работников. Система глобального позиционирования (GPS) также широко используется для отслеживания траекторий движения рабочих на строительных площадках в целях повышения безопасности. Эти системы различаются по точности локализации, стоимости, масштабируемости, уровню согласованности, надежности и защите данных.

Факторы окружающей среды на объекте, такие как температура, уровень шума и концентрация загрязняющих веществ, также представляют собой серьезные опасности на рабочем месте, которые требуют постоянного мониторинга. Существующие разработки [80] предлагают использовать беспроводные сенсорные сети для мониторинга температурного режима на рабочем месте и интеграцию системы с платформой ТИМ для улучшения управления безопасностью.

Временные конструкции на строительных площадках – аспект, требующий тщательной проверки на предмет соблюдения всех требований безопасности. Например, проверка безопасности строительных лесов проводится инспектором визуально и представляет собой трудоемкий процесс. Существует система мониторинга безопасности конструкции в режиме реального времени с помощью тензодатчиков, установленных на строительных лесах [81]. С помощью анализа методом конечных элементов была разработана модель машинного обучения для классификации различных состояний строительных лесов, таких как перегрузка, неравномерная осадка и переворачивание, на основе данных, полученных от тензодатчиков.

Разработка проактивных систем сигнализации в реальном времени – еще одна активная область исследований. Зарубежные исследователи разработали метод, который сочетает в себе системы компьютерного зрения с системами определения местоположения в реальном времени для выполнения трехмерной оценки положения экскаватора, используя камеры наблюдения, установленные на строительных площадках в качестве стереокамер [82]. Например, спецтехника, приближающаяся к работнику в перегруженной рабочей зоне, с большей вероятностью станет причиной несчастного случая, чем приближающееся к работнику в просторной зоне.

Однако общим ограничением этих технологий является отсутствие визуальной информации об отслеживаемых объектах, что является недостатком для возможности полноценного мониторинга и проверки статуса хода выполнения проекта. Поэтому такие технологии, как системы на основе зрения и системы определения местоположения в реальном времени, могут быть интегрированы в систему контроля безопасности труда на основе ЦД для единой работы и обеспечения полноценного получения достаточной информации об отслеживаемых объектах [83, 84].

Далее вся полученная информация от анализируется, обрабатывается и распределяется по критериям оценки уровня безопасности из таблицы 2.1. После распределения каждый фактор оценивается с помощью разработанной системы

информационной поддержки принятия решений на предмет отклонения от установленных нормативных требований безопасности труда. Напомним, что для унификации разнообразных данных, полученных через систему мониторинга в реальном времени, используется цветовая шкала, которая соотносит результаты каждой оценки соответствующему цвету.

По итогам присвоения состояний уровня безопасности критериев, ЛПП выдаются рекомендации для принятия каких-либо мер, направленных на повышения уровня безопасности.

Такой алгоритм можно использовать либо в качестве альтернативы на платформе, которая может считывать модели зданий (например, платформы IFC), либо в качестве нового программного продукта, который будет анализировать шаги обеспечения безопасности и адаптировать их под изменяющиеся условия ведения строительных работ.

Подводя итоги, сформулируем этапы реализации алгоритма функционирования механизма контроля безопасности труда с применением ТИМ:

1. Интерпретация нормативных требований. Интерпретация требований и правил безопасности труда представляет собой логическое преобразование из человеческого языка в машиночитаемый формат. Имя, тип и другие свойства того или иного правила можно проанализировать и обработать. Затем правила можно классифицировать, исходя из различных условий состояния объекта, используя контекст алгебры логики, например, импликация «ЕСЛИ-ТО», чтобы определить соответствующие меры. Преобразование правила обычно имеет два аспекта:

- условие или контекст, в котором применяется правило;
- свойства, к которым применяется правило.

На первом этапе можно определить целевой строительный объект, например, плиту, а на втором этапе проверить ширину, длину, местоположение и т. д. идентифицированной плиты. Интерпретированные правила хранятся внутри системы информационной поддержки принятия решений.

2. Подготовка модели здания. В объектном моделировании все объекты здания должны быть связаны с определенным типом объекта и атрибутами. Эта информация используется в качестве основы для проверки не только геометрических характеристик, но и всех характеристик, обеспечивающих безопасность на всём жизненном цикле объекта. Важно, чтобы каждый объект здания нес информацию, например, имя объекта, тип, атрибуты, идентификационный номер (ID), дату и т.п. Кроме того, пространственная структура каждого строительного объекта должна быть хорошо организована, например, по этажам или секциям. Это поможет быстрее классифицировать модели и пространственные ограничения.

3. Выполнение нормативных требований. Этап выполнения нормативных требований объединяет переведенные наборы правил и подготовленную модель здания. Поскольку правила были преобразованы в машиночитаемый код, их выполнение не вызывает затруднений. Строительные объекты могут быть сопоставлены с наборами правил по имени, типу или другим атрибутам, в соответствии с техническими регламентами, ГОСТами, СП и СанПиНами.

4. Алгоритм должен работать на превентивность в режиме реального времени, т.е. с использованием ЦД, другими словами, проводить:

- автоматическую выдачу рекомендаций по устранению отклонений от нормативных значений критериев оценки уровня безопасности труда, начиная с попадания в переходное состояние 3 и далее;
- автоматическую выработку прогноза общего состояния объекта строительства. В том числе при условии выполнения всех рекомендованных действий;
- автоматическую оценку различных возможных отклонений критериев оценки уровня безопасности труда после попадания в переходное состояние 3 и результатов их парирования;
- прогнозирование изменения уровня безопасности труда в процессе строительства и при вводе новых производственных процессов.

5. Отчет о проверке. Результаты проверки уровня безопасности могут быть представлены в виде таблиц, показывающих подробную информацию об источнике опасности, причинах и примененного решения. Кроме того, возможна также информация о количественных показателях для более подробного описания ситуации и импорт сгенерированной информации на носители.

6. Корректировка безопасности. ЦД должен способствовать качеству принятия решений и повышать осведомленность всех участников проекта, включая рабочих, о состоянии безопасности. В том числе, передавать информацию лицам, отвечающим за безопасную организацию работ и проводить корректировку рекомендаций.

2.5. Создание цифрового двойника объекта строительства в целях принятия решений об организации предупредительных мер в области безопасности труда

Термин «цифровой двойник» (Digital Twin) был впервые введен Майклом Гривзом из Мичиганского университета в 2000-х годах. Гривз описал ЦД как «цифровое представление физического продукта, состоящее из трех элементов: физического продукта в реальном пространстве, виртуального продукта в виртуальном пространстве и двунаправленных данных и информационных соединений, которые их связывают» [85].

Существуют и другие определения ЦД, схожие с первоисточником. Например, Siemens определяет ЦД как «виртуальную модель физического объекта или системы, которая может использоваться для моделирования поведения этого объекта или системы, чтобы лучше понять, как они работают в реальной жизни» [86]. Аналогично, IBM описал ЦД как «виртуальное представление объекта или системы, которое охватывает весь его жизненный цикл, обновляется на основе данных в реальном времени и использует моделирование, машинное обучение и рассуждения для помощи в принятии решений» [87].

В России определение ЦД утверждено на законодательном уровне в ГОСТ Р 57700.37–2021, который устанавливает определение и общие положения создания и применения ЦД изделий в промышленности. «ЦД – это система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями» [88].

Сегодня применение концепции ЦД затрагивает торговлю, здравоохранения, горнодобывающую промышленность, сельское хозяйство, машиностроение, строительство и т.д. Здесь определения ЦД различаются в зависимости от функций и целей, которым они служат в конкретных отраслях или контекстах.

В компьютерных технологиях ЦД воспринимается как моделирование и абстрактное представление состояния физического оборудования [89]. В секторе автоматизации они служат основным связующим звеном между цифровыми моделями и физическими механическими устройствами, способствуя улучшению и оптимизации производительности системы. [90].

В архитектуре ЦД определяется как создание визуальных и цифровых моделей физических объектов [91]. Эта технология обеспечивает обмен данными в реальном времени между физическим и цифровым объектами, способствуя глубокому взаимодействию между ними. Она поддерживает такие операции, как мониторинг в реальном времени, обновление данных, моделирование процессов, анализ, контроль, прогнозирование и оптимизация. Кроме того, она обеспечивает эффективное взаимодействие между подразделениями на протяжении всего жизненного цикла объекта строительства.

В строительной отрасли на реализацию проекта необходимо большое количество ресурсов и времени. Строительство любого объекта характеризуется сложной динамической средой и технологическими процессами. Эта стадия не только требует постоянного надзора за качеством и ходом строительства, но и обеспечения безопасности. Одновременно необходима координация между всеми участниками строительства, для гарантии своевременного выполнения

работ в соответствии с установленным планом. Применение ЦД в строительстве в первую очередь включает в себя строительный мониторинг, планирование, безопасность строительства и координацию.

Также, цифровые двойники могут быть использованы для удаленного мониторинга и управления производством, оценки качества, обнаружения дефектов, контроля безопасности, оптимизации процессов, проектирования, предиктивного обслуживания, повышения производительности, снижения затрат, предиктивной аналитики, визуализации данных, образования и учебных целей [92-94].

Однако, несмотря на эти многочисленные преимущества, применение цифровых двойников в области безопасности труда все еще находится на ранних стадиях. В отечественной научной практике применение ЦД на сегодняшний день практически не рассматривалось. Существуют единичные разработки, которые находятся на начальном этапе или имеют узкую направленность [95].

Тем не менее, в концепции отсутствует ясность из-за ее путаницы с термином «ТИМ». Некоторые авторы используют эти два термина взаимозаменяемо, в то время как другие считают их разными. Например, ЦД упоминается как цифровой объект ТИМ [96] и как ТИМ-модель с данными жизненного цикла и возможностью моделирования [97]. Путаница в использовании терминов может помешать принятию ЦД в качестве новой концепции в строительной отрасли [98]. Поэтому важно различать ЦД и ТИМ-модель.

Британские исследователи определили ТИМ как «совместный способ работы, основанный на цифровых технологиях, которые открывают более эффективные методы проектирования, доставки и обслуживания физических построенных объектов» [99]. Ключевой особенностью ТИМ является 3D-модель, которая реализуется с помощью объектно-ориентированного программного обеспечения. ТИМ-модель выступает в качестве богатого хранилища данных, которое содержит информацию о геометрических и функциональных аспектах объекта и другие связанные данные, такие как время, оценка стоимости и т. д.

При правильной разработке и управлении ТИМ-модель способна предоставить множество точных геометрических, описательных и функциональных метаданных, которые можно использовать для улучшения методов реализации проекта [100].

Однако ТИМ-модель ограничена в предоставлении динамических данных о физической среде в реальном времени. Строительные проекты реализуются в динамической среде, генерирующей огромное количество данных. Значительный объем этих данных не используется в полной мере, но они имеют решающее значение для принятия обоснованных решений [101]. Таким образом, требуется сбор этих данных путем мониторинга в режиме реального времени. Кроме того, ТИМ-модель имеет ограниченные возможности для работы с большим объемом динамических и многообразных данных, для хранения и обработки которых требуются передовые технологии. Эти ограничения могут привести к недостаточному использованию данных, неэффективному принятию решений и нецелесообразным действиям со значительными финансовыми последствиями.

Концепция ЦД дает возможность устранить ограничения ТИМ. В системе ЦД физический объект подключается к эквивалентной ему виртуальной модели для непрерывного обмена данными между двумя объектами. Это означает, что ТИМ-модель является лишь отправной точкой для разработки цифрового двойника в строительстве. Основой ЦД часто становится ТИМ-модель, которая появляется на этапе проектирования. К ней добавляется информация о текущем состоянии объекта и получается ЦД.

Принцип работы ЦД заключается в подключении ТИМ-модели к физическому двойнику, т.е. к реальному строящемуся объекту, чтобы обеспечить двустороннюю передачу данных между ними. Это позволяет обновлять ТИМ-модель данными в режиме реального времени. Такая процедура дает возможность к более точному принятию решений при организации безопасных условий труда и управлении ими.

Кроме того, ЦД использует передовые методы анализа данных, такие как искусственный интеллект для обработки больших наборов данных, чтобы обеспечить мониторинг состояния, прогнозы, диагностику и оптимизацию системы. Собранные данные имеют большой объем и поступают из нескольких источников, что требует определенных возможностей для хранения больших данных. Затем динамические данные из физической среды интегрируются и объединяются в виртуальную модель [102]. Данные ЦД могут обрабатываться с использованием передовых технологий анализа данных. Обработанные данные, наконец, становятся доступны всем участникам строительного процесса.

Рассмотрим принцип работы цифрового двойника для обеспечения безопасности на строительной площадке. Как упоминалось ранее, падение с высоты и падения грузов на строительной площадке по статистике является самой распространенной причиной гибели или травм людей.

При традиционном способе обеспечения безопасности при работах на высоте данные о количестве людей, задействованных в работах на высоте, применении СИЗ, СКЗ и пройденных инструктажах могут быть получены с помощью периодического обхода, анализа карточек учета СИЗ, документации и т. д. Однако из-за сложности рабочей среды на строительной площадке такой подход является трудозатратным. В таких условиях сложно принимать решения в короткие сроки при появлении предупредительных признаков опасности. Кроме того, поскольку оборудование для обнаружения может обеспечивать определение состояния только в режиме реального времени, трудно делать разумные прогнозы для достижения цели своевременного реагирования и предотвращения падения человека или груза. Таким образом, появляется необходимость в создании цифрового двойника на основе вышеперечисленных недостатков.

Концепция работы физического объекта и цифрового двойника представлена на рисунке 2.14.

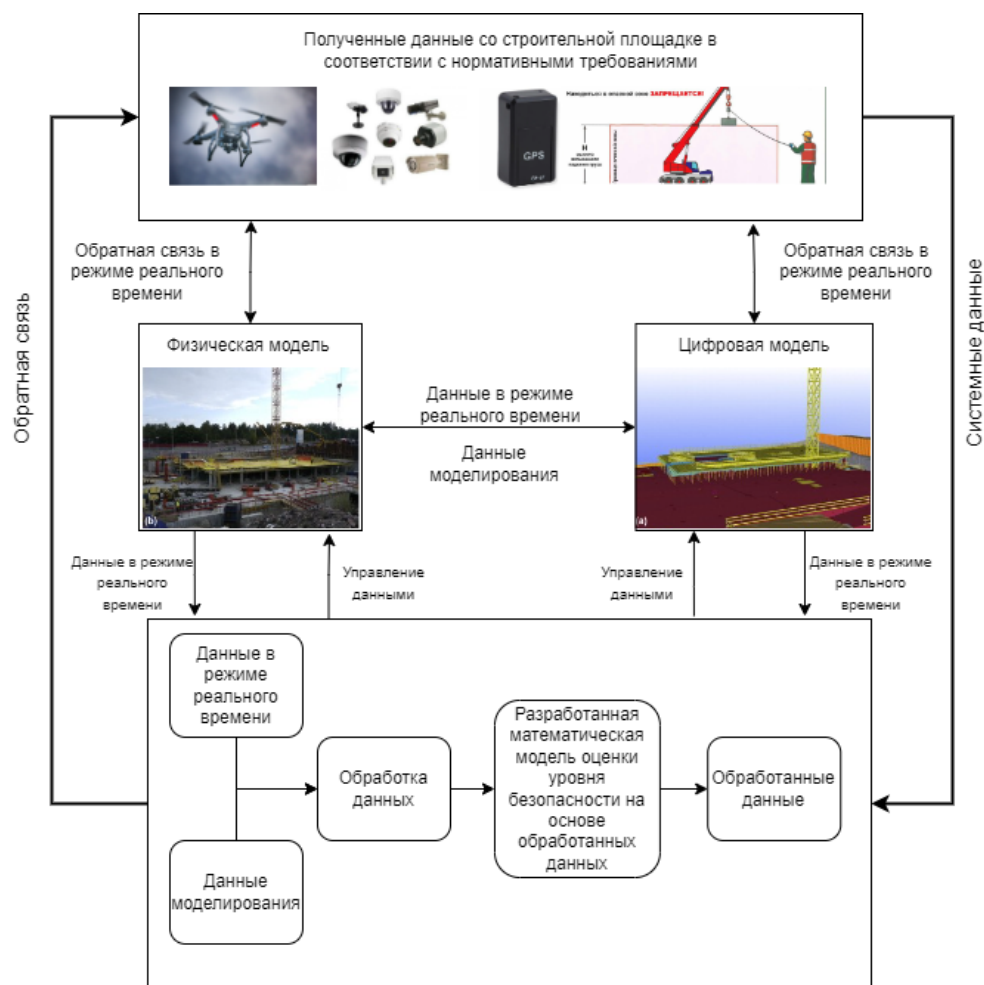


Рисунок 2.14 – Модель организации безопасности при работах на высоте

Физический и цифровой объекты передают данные, на основе которых идет анализ переданной информации и прогноз возможных будущих состояний. На основе полученной фактической информации, цифровой объект выполняет моделирование для более точного прогноза будущего состояния физического объекта. После прогнозирования возможных состояний на основе разработанной математической модели, цифровой объект передает результаты своего прогноза и рекомендации для предупредительных мероприятий для ЛПР. Далее ЛПР определяет оптимальное решение, а затем передает его в цифровую систему контроля безопасности труда [70]. Такое решение направляется всем участникам строительного процесса для сигнализации об опасности. Все эти операции выполняются в рамках сдвоенной модели, что позволяет значительно сократить

время и быстроту реагирования в отличии от использования существующих методов.

В целях снижения количества несчастных случаев во время строительства нами была предложена система информационной поддержки принятия решений, которая описана более подробно в главе 2.

Стоит выделить основные два аспекта для адекватного применения ЦД в рамках безопасности труда:

- средства мониторинга и контроля для получения информации о безопасности в режиме реального времени;
- требования, предъявляемые к ЦД [103].

Важно отметить, что непрерывный мониторинг и анализ данных способствуют раннему выявлению нарушений требований безопасности труда, позволяя быстро принимать превентивные меры для предотвращения несчастного случая. Тем не менее, в настоящее время нет мнения относительно набора требований к ЦД, как и разработок в его применении с точки зрения безопасности труда в строительстве. Поэтому нами были сформулированы основные требования для его интеграции в безопасность труда на строительной площадке.

В результате исследования описаны следующие требования к ЦД в рамках безопасности труда:

- границы (зоны/ участки);
- уровень проработки (детализация);
- синхронизация в зависимости от дискретности передачи данных с видеокамер и др. устройств фиксации на основе их технических характеристик, для отображения актуальной и информативной модели, которая позволит контролировать технологические процессы в реальном времени;
- обратная связь для контроля изменений с учетом замечаний (настраиваемая локальная сеть, Wi-Fi, сотовая связь, радиосвязь и т.д.) передаваемая информация на устройства (планшеты, смартфоны, трекеры, рации и др.) [103].

Рассмотри первые два пункта более подробно.

Границы (зоны/участки). ЦД занимает большой объем данных, поэтому, за границы ЦД принимается вся строительная площадка (см. рис. 2.15), но, важно отметить, что нет необходимости использовать высокий уровень детализации для всей территории площадки. Например, разобьем строительную площадку на две зоны. Тем самым, будет целесообразно использовать высокий уровень детализации для зоны 1 и низкий уровень детализации для зоны 2. Зона 1 представляет собой само строящееся здание или сооружение, зона 2 – территория вокруг строящегося здания или сооружения в пределах границ строительной площадки (см. рис. 2.16) [103].

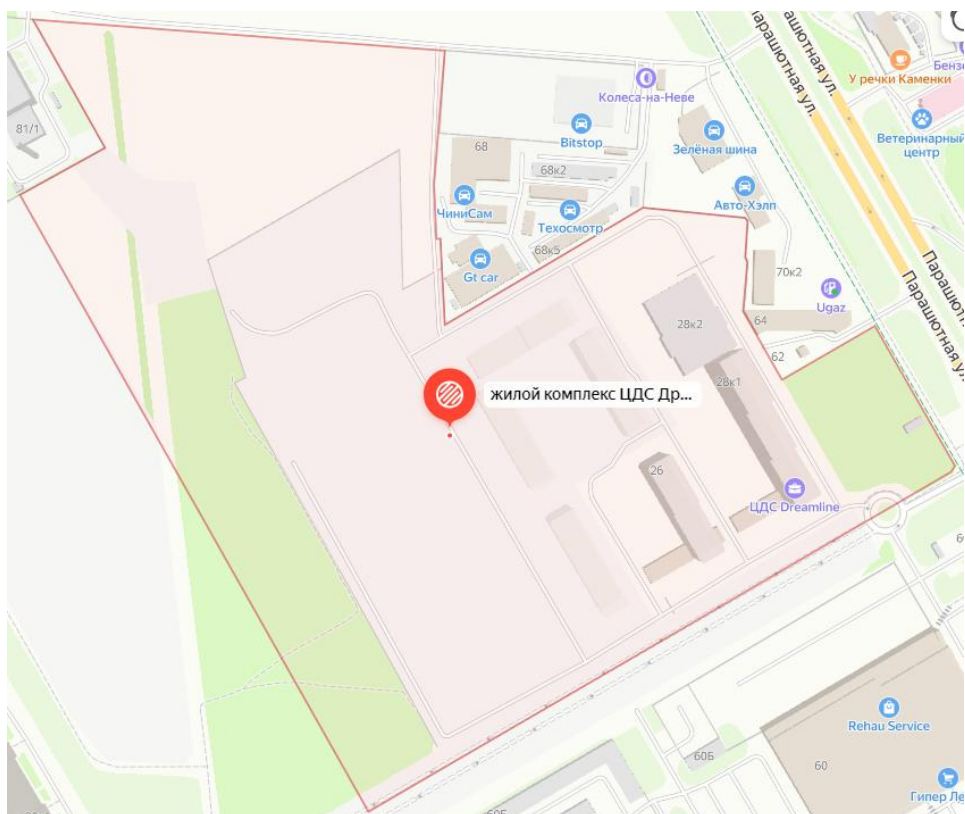


Рисунок 2.15 – Границы строительной площадки [103]



Рисунок 2.16 – Деление строительной площадки на зоны [103]

Уровень проработки (детализация). Определение необходимого, но достаточного уровня детализации для полноценного функционирования цифровой системы контроля безопасности труда является одним из важнейших факторов при разработке ЦД. Глубокая детализация может стать причиной медленной работы инструмента из-за большого потока данных. Низкий уровень может способствовать потере информации, которая в дальнейшем является необходимой для верного принятия решений, или, наоборот, стать причиной нереализуемых или ошибочных выводов [103].

Так как ЦД создается на базе информационной модели, то целесообразно применять существующие уровни проработки (далее – LOD) Это «набор требований, определяющий полноту проработки элемента цифровой информационной модели. Уровень проработки задает минимальный объем геометрических, пространственных, количественных, а также любых атрибутивных данных, необходимых для решения задач информационного моделирования на конкретной стадии жизненного цикла объекта» [104].

На данный момент существует пять уровней проработки. В пункте 6.3 СП 333.1325800.2017 более подробно сформулировано описание и применение каждого из них.

Также важно понимать, что определённый LOD описывает уровень проработки не для всей информационной модели здания, а только для отдельных её элементов. Для каждой категории должно быть описание, насколько проработана геометрия и какие параметры необходимы. Допускается введение промежуточных уровней детализации для специфических требований в реализации элементов.

Далее сформулируем требования к уровням проработки ЦД для критериев из таблицы 2.1.

Таблица 2.2. Требования к детализации ЦД в контексте безопасности труда на строительной площадке [103]

Критерий	Контролируемые факторы	Уровень детализации	Необходимые функции
1	2	3	4
Персонал	Информация (квалификация, инструктажи, обучение, мед. заключение и проч.)	Уровень детализации не требуется	Данные представлены в виде неграфической информацией.
	Средства индивидуальной защиты	LOD 300	Элементы ЦД с определенными величинами, размерами, формами, положением и ориентацией. Сопровождается неграфической информацией.
	Позиционирование	LOD 300	Элементы ЦД с определенными величинами, размерами, формами, положением и ориентацией. Сопровождается неграфической информацией.

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4
Машины и оборудование	Документация (ЧТО, ПТО, проектная и проч.)	LOD 100	Элемент ЦД представлен с указанием приблизительных данных о количестве, размерах, форме, пространственном положении и ориентации. Сопровождается неграфической информацией.
	Условия эксплуатации	LOD 200	уровень универсального графического представления с приблизительным количеством, размером, формой, положением и ориентацией и, в случае необходимости, основной неграфической информацией
	Позиционирование	LOD 300	Элементы ЦД с определенными величинами, размерами, формами, положением и ориентацией. Сопровождается неграфической информацией.
Фактическое состояние рабочего места	Эргономика	LOD 300	Элементы ЦД с определенными величинами, размерами, формами, положением и ориентацией. Сопровождается неграфической информацией.
	Вредные производственные факторы	LOD 250	Промежуточный уровень универсального графического представления с приблизительным количеством, размером, формой, положением и ориентацией и, в случае необходимости, основной неграфической информацией
	Климатические условия	Уровень детализации не требуется	Данные с интерактивных метеорологических карт

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4
Фактическое состояние строительной площадки	Объемно-планировочные работы	LOD 300	Элементы ЦД с определенными величинами, размерами, формами, положением и ориентацией. Сопровождается неграфической информацией.
	Пожарная безопасность	LOD 300	
	Промышленная безопасность	LOD 300	
Средства защиты	Идет связь с критерием «Персонал»	LOD 300	Элементы ЦД с определенными величинами, размерами, формами, положением и ориентацией. Сопровождается неграфической информацией.
	Документация	LOD 100	Элемент ЦД представлен с указанием приблизительных данных о количестве, размерах, форме, пространственном положении и ориентации. Сопровождается неграфической информацией.
Опасные виды работ	Документация	Уровень детализации не требуется	Данные представлены в виде неграфической информацией.
	Организация рабочего места	LOD 300	Элементы ЦД с определенными величинами, размерами, формами, положением и ориентацией. Сопровождается неграфической информацией.

Однако, в связи с переходом на отечественные продукты, классификация уровней проработки так же претерпела изменения, что отражено в СП 333.1325800.2020 (см. табл. 2.3).

Таблица 2.3. Соответствие международных и отечественных уровней проработки

Уровень проработки (СП 333.1325800.2020)	Уровень проработки (СП 333.1325800.2017)	Описание
A	LOD 100	Упрощенные формы, примерные размеры и пропорции элементов здания
B	LOD 200	Основные геометрические формы, размеры элементов, без детальной информации
C1	LOD 300	Детализированные геометрические формы, размеры элементов
C2	LOD 350	Детализированные геометрические формы, уточненные размеры элементов и материалы
D	LOD 400	Высокая детализация всех элементов объекта с точным описанием материалов, размеров и соединений
G	LOD 500	Точное отображение построенного объекта со всеми элементами, деталями, соединениями и проч.

Таким образом, отечественные уровни проработки соотносятся с международными, что обеспечивает согласованность в управлении информацией на строящемся объекте.

Поясним подробнее на примере критерия «Персонал» (см. рис. 3).

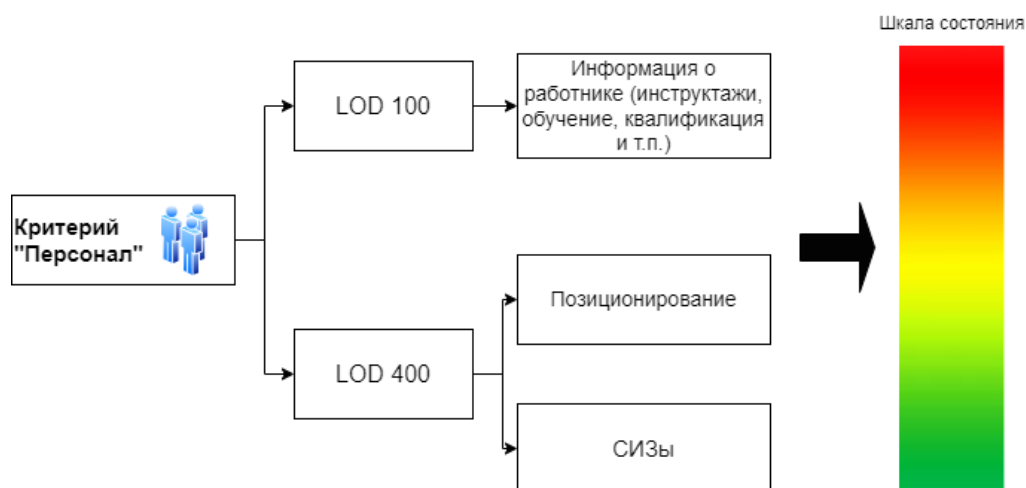


Рисунок 2.17 – Оценка состояния факторов критерия «Персонал» с применением детализации [103]

Основные отслеживаемые факторы критерия «Персонал» включают в себя:

- документацию;
- позиционирование работников;
- применение СИЗ [103].

Фактор «Документация» не требует проработки, достаточно иметь неграфическую информацию о каждом работнике (пройденные инструктажи, обучение, квалификация, стаж, мед. осмотры и проч.). Достаточно высокой степенью детализации должны обладать «Позиционирование» и «СИЗ», т.к. важно знать местонахождение работников и какими СИЗ обеспечен работник, носит ли он их и соответствуют ли они Единым типовым нормам выдачи СИЗ. Далее каждый фактор оценивается по шкале состояния в режиме реального времени. В результате такой оценки создаются мероприятия превентивного характера для предотвращения негативного развития событий в случае выявления нарушений требований безопасности [103].

Определение необходимого уровня детализации дает возможность более точно оценить состояние как каждого фактора по отдельности, так и всего критерия в целом [103].

Рассмотрим необходимость проработки детализации на примере позиционирования. Попадание человека в опасную зону работы экскаватора должен иметь следующие три условия: местоположение экскаватора, местоположение человека и радиус действия экскаватора. В соответствии с п. 139 Приказа Минтруда России от 11.12.2020 N 883н «Об утверждении Правил по охране труда при строительстве, реконструкции и ремонте» при работе экскаватора не разрешается производить другие работы со стороны забоя и находиться работникам на расстоянии ближе 5 м от радиуса действия экскаватора [105]. Поэтому при построении модели двойника попадания человека в опасную зону работы экскаватора следует установить значение радиус действия экскаватора больше, чем в действительности. Тем самым модель двойника может реагировать, когда значение расстояния человека до опасной зоны достигает установленного порога, что обеспечивает достаточное время реагирования до возникновения аварии [103].

Более широкое применение ЦД подразумевает взаимодействие различных технологий, например, виртуализации, IoT, ИИ и, в значительной степени, опирается на огромный объем данных, поступающих из физического мира, или на информацию, предоставленную, например, экспертами в предметной области или другими участниками строительного процесса, для точного воспроизведения поведения физического двойника [106, 107]. Если модель ЦД не соответствует физическим требованиям, то необходима дальнейшая проработка модели для обеспечения точности с ее физическим двойником.

Требования, указанные выше, являются базовыми. Конечно, в зависимости от объекта строительства, его уникальности, объемов и назначения, данный список требований может быть расширен, присвоенные уровни детализации могут быть изменены, а границы – расширены/уменьшены. Конкретная модель ЦД ориентирована на фактические потребности или требования определенных объектов [103].

Кроме того, внедрение ЦД является как трудоемким, так и дорогостоящим процессом, поскольку происходит обмен данными в реальном времени и их

передача от физического объекта в ЦД объекта, что требует значительных ресурсов. Во многих исследованиях изучалось применение ЦД в различных отраслях без учета экономических аспектов [108].

Основываясь на результатах проведенного исследования, дадим определение цифрового двойника в области безопасности труда на строительной площадке. Цифровой двойник – это виртуальная модель физического объекта/системы/элемента с двунаправленной передачей данных в режиме реального времени для контроля за уровнем безопасности и реализацией предупредительных мероприятий с целью снижения уровня травматизма на физическом объекте [103].

Выводы по главе

1. Анализ системы контроля Группы «Эталон» показал преимущества применения ТИМ для повышения эффективности функционирования системы мониторинга безопасности труда.
2. Выбраны и обоснованы критерии оценки опасных и вредных факторов производства для контроля уровня безопасности труда на основе нормативных требований.
3. Разработана математическая модель системы информационный поддержки принятия решений для автоматизации обеспечения безопасности труда на строительной площадке с учетом динамики производства работ.
4. Создан алгоритм функционирования цифровой системы контроля безопасности труда, позволяющий идентифицировать уровень безопасности как по отдельному критерию, так и всего объекта в целом.
5. Обосновано применение ЦД объекта строительства для сигнализации об опасностях в целях превентивных мер для соблюдения нормативных требований при выполнении работ. Дано определение «цифровой двойник» с точки зрения безопасности труда, а также сформулированы требования к двойнику.

ГЛАВА 3. ОПЫТНОЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

Безопасность труда на предприятии нередко воспринимается как некая «затратная деятельность», не приносящая дохода. Несчастные случаи, произошедшие на строительной площадке, приводят к существенным экономическим издержкам (помимо негативного социального и морального ущерба).

Разумеется, тема экономики безопасности труда достаточно широка. Существуют следующие затраты:

- Затраты в сфере безопасности труда. Глобальная оценка. Классификация затрат в сфере охраны труда на предприятии.
- Прямые и косвенные затраты предприятия в связи с несчастными случаями на производстве.
- Прогнозирование затрат от несчастных случаев, микротравм, инцидентов на производстве.
- Анализ эффективности инвестиций в охрану труда.
- Социальное страхование. Затраты и экономия.

Практические исследования представлены в работе [109, 110].

3.1. Оценка практического применения алгоритма принятия решений

ТИМ – это не только проектирование и строительство с технической, инженерной точки зрения, но это еще и инструмент, позволяющий быстро и эффективно руководить, и управлять всеми процессами, протекающими в строительной отрасли.

В первую очередь нужно сказать, что внедрение ТИМ в проектирование зданий и сооружений уже приносит свои экономические плоды в различных странах. По результатам зарубежных исследований преимущества ТИМ заключается в следующем (см. табл. 4.1) [111]:

Таблица 3.1 – Преимущества внедрения ТИМ в строительство

Процессы строительства с применением ТИМ	Оценка воздействия ТИМ
Повышение эффективности проектирования	41-60%
Сокращение количества изменений в ходе строительства	21-40%
Сокращение сроков реализации проекта	1-20%
Повышение безопасности на строительной площадке во время строительства	1-20%
Сокращение количества запросов на информацию на объекте в ходе строительства	21-30%
Сокращение затрат на работу строителей	1-20%
Сокращение потребления энергии во время эксплуатации объекта строительства	8-10%
Сокращение работ по техническому обслуживанию	21-40%

В России же существует государственная программа «Цифровая экономика», также поддерживающая внедрение ТИМ. Потери строительных компаний, использующих ТИМ, снизились более чем в два раза. В ряде субъектов уровень использования ТИМ превышает 70%, а в столице достигает почти 90%. По данным ДОМ.РФ применение ТИМ повышает эффективность в строительстве, в том числе сокращает бумажный документооборот на 85%, сроки обработки документов на 50%, сокращает ошибки при проектировании на 80%. [112, 113].

Снижение затрат является приоритетной задачей каждой строительной компании. Оценивая эффективность, можно привести в пример множество плюсов, которые способна принести разработанная цифровая система контроля безопасности труда.

В первую очередь – это повышение уровня безопасности труда, в следствие того, что объект, построенный согласно нормам и правилам, исключает вероятность нарушения требований, что может привести к травмам.

Далее, улучшение инженерно-технических показателей, в следствие повышения уровня безопасности здания или сооружения. Это опять же

обуславливается соблюдением нормативно-правовой документации в области безопасности труда.

Социальный аспект играет очень важную роль. Социальные показатели будут расти из-за увеличения числа работников, в связи с увеличением количества рабочих мест, соответствующих нормальным условиям труда (возможность получить работу маломобильным группам населения).

Экономический эффект от мероприятий отражает превышение стоимостных оценок конечных экономических результатов над совокупными затратами трудовых, материальных, финансовых и прочих ресурсов за отчетный период.

Предлагаемая цифровая система контроля способна дать эффект для строительных компаний. Основным экономический эффект заключается в отсутствии необходимости переоборудовать построенный объект в случае наличия нарушений, что, как было выяснено, составляет огромные суммы, а экономия времени позволит дать в эффект в сокращении фондов по оплате труда [114].

Расчет рисков травмирования. Расчет риска травмирования на строительных площадках г. Санкт-Петербурга проводится на основании коэффициента частоты травматизма $K_{\text{чт}} = 0,053$ и количества погибших работников $N_{\text{тр}} = 47$ чел. за 2023 год [114].

$$K_{\text{чт}} = \frac{N_{\text{тр}} \times 1000}{C}, \quad (3.1)$$

где $K_{\text{чт}}$ – коэффициент частоты травматизма;

$N_{\text{тр}}$ – количество травмированных;

C – общая численность сотрудников за выбранный период в строительстве в г. Санкт-Петербург.

Путем обратного расчета формулы (3.1), получаем $C = 88679$ чел. Тогда риск травмирования R принимаем за отношение количества травмированных к численности сотрудников за выбранные период и получаем [115]:

$$R = \frac{N_{\text{тр}}}{C} = 5,2 \times 10^{-4}, \text{ случ/год} \quad (3.2)$$

Аналогичным образом определим риск травмирования за первое полугодие 2024 года, основываясь на данных Роструда, $K_{\text{чт}} = 0,053$ (оставить тот же), количество погибших работников = 73 чел. [116].

Суммарное количество работников в строительной отрасли на 2024 год в г. СПб сократилось на четверть и составляет около = 65000 чел. Тогда риск $R = 1,12 \times 10^{-3}$.

По результатам сравнительного анализа расчетов за 2023 г. и за первое полугодие 2024 г., можно сделать вывод, что риск травматизма растет. Далее был произведен расчет рисков с применением цифровой системы контроля безопасности труда. Для примера были взяты 5 крупных девелоперов строительной отрасли по г. Санкт-Петербургу: ГК «Эталон», «ЛСР», «ЦДС», «Setl Group» и «Лидер Групп» на основании общедоступных данных с официальных сайтов компаний.

В рамках устойчивого производства строительные компании обязаны публиковать отчетные документы, где содержатся данные о числе пострадавших за отчетный период. Например, в Эталоне за 2022 пострадало 2 человека, а $K_{\text{чт}} = 0,36$, соответственно $R = 3,6 \times 10^{-4}$ [117].

С применением разработанной цифровой системы контроля безопасности труда, если, хотя бы в половине случаев будет предупрежден травматизм, в том числе с летальным исходом, то можем предположить снижение риска до уровня $R = 7,7 \times 10^{-5}$ при количестве травмированных за отчетный год $N_{\text{тр}} = 5$ чел. Т.е. риск потенциально снизится до 10^{-5} , что является приемлемым риском для промышленных отраслей.

Основываясь на полученных данных, целесообразно произвести экономическое обоснование внедрения ТИМ для снижения риска травматизма.

Для оценки экономической эффективности внедрения ПО (ROI -Return on Investment) необходимо определить следующие показатели:

- затраты, включающие стоимость ПО, затраты на внедрение, обучение, поддержку и т.д.;

- выгоды, например, экономия затрат, увеличение доходов, снижение рисков и т.д.;

- расчет ROI;

- срок окупаемости (получение чистой прибыли от внедрения ПО [118]).

Определение затрат на оборудование и программное обеспечение. В таблице 3.2 приведена смета затрат на внедрение системы смарт-видеоконтроля на участке строительной площадки ЖК «Пулковский дом». Стоит отметить, что аренда сервера не входит в стоимость, т.к. в большинстве крупных строительных компаний имеется свой сервер.

Таблица 3.2 – Смета затрат на внедрение системы смарт-видеоконтроля применения СИЗ на примере строительной площадки ЖК «Пулковский дом»

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Количество, шт.	Стоимость, руб/ед.	Стоимость итого, руб.
I. Оборудование					
1.	Смарт видекамера Марки TP-LINK VIGI C340S (4 Мп)	Шт.	2	19 869 (Ситилинк, СПб)	39 738
2.	Видеорегистратор NVR (сетевой) Hikvision DS-7616NXI-K2	Шт.	1	17 070	17 070
3.	Жесткий диск Toshiba Enterprise Capacity MG08ADA800E, 8ТБ	Шт.	1	21 990	21 990
4.	Коммутатор MIKROTIK CSS326-24G-2S+RM, управляемый	Шт.	1	23 999	23 999
5.	Кабель сетевой Buro BU-CCA-050-FTP-OUTDOOR FTP, 305м, 4 пары, 0.5мм, алюминий омедненный, одножильный, 1 шт, черный	м	305	8 915	8 915
6.	Герметичный RJ45 коннектор для интернет кабеля (бочка), защита IP67, белый	Шт.	20	711	14 220

Продолжение таблицы 3.2

7.	Металлический кронштейн SMTKEY для наружной камеры видеонаблюдения, водонепроницаемый Кронштейн для камеры видеонаблюдения	Шт.	2	827	1 654
8.	Кабель-канал 16x16 белый (2м) LEIDEN ELECTRIC	Шт.	20	139	2 780
9.	крепеж	Уп.	10	150	1 500
10.	Источник бесперебойного питания Cyberpower BS850E	Шт.	1	9 296	9296
11.	Ноутбук Irbis BlizzardBook 15NBC1009 (1920x1080, AMD Ryzen 7 5825U, RAM 16ГБ, SSD 512ГБ, AMD Radeon Graphics, Win 11 Pro)	Шт.	1	43 610	43 610
ИТОГО за оборудование					184 772
II. Монтажные работы					
12.	Монтаж камер	Руб./шт	2	2500	5000
13.	Прокладка кабелей	Руб./м	100	70	7000
14.	Установка NVR и коммутатора	Руб.	1	7500	7500
15.	Настройка системы:	Руб.	1	10000	10000
16.	Пуско-наладочные работы и обучение персонала	Руб.	1	8 000	8000
ИТОГО по монтажным работам					37 500
III. Дополнительные расходы (резерв)					
17.	резерв в 15% от стоимости оборудования и монтажа	Руб.	(184772 + 37500)*0,15		33 341
ИТОГО резерв					33 341

Продолжение таблицы 3.2

IV. Программное обеспечение:					
Тип ПО: Профессиональное ПО для видеонаблюдения с расширенным функционалом (архивирование, аналитика, удаленный доступ, детекция движения, распознавание лиц/объектов - опционально)					
Лицензирование: Лицензирование годовое на количество камер.					
Требования: Поддержка ONVIF, совместимость с установленным оборудованием, наличие технической поддержки.					
18.	Лицензии на программное обеспечение (на количество камер)	Руб. на 12 кам./год	12	5000	10 000
19.	Установка и настройка ПО	Руб.	1	20 000	20 000
20.	Обучение персонала	Руб./чел	5	4000	20 000
21.	Обновления и техническая поддержка	Руб./год	1	5000	5 000
22.	Техническое обслуживание	Руб./год	1	15 000	15 000
23.	Дополнительные лицензии (резерв)	Руб./год	2	5 000	10 000
24.	Дополнительные расходы (резерв) для годовой подписки, 20% от стоимости ПО и его обслуживания	Руб.	(30000 + 20 000)*0,2		10 000
	ИТОГО за ПО				90 000
ИТОГО полная сметная стоимость, руб.					345 613

Определение выгод от применения системы видеонаблюдения и применения ПО заключается в определении предотвращенного ущерба от гибели (травмирования) работника.

3.2. Оценка экономической эффективности предотвращенного ущерба от негативных последствий

Обеспечение безопасности труда в организации, в том числе и обеспечение соответствия фактических условий труда установленным требованиям, входит в

обязанности работодателя. В связи с этим работодатель должен организовать создание цифровой системы управления безопасностью труда в организации, которая позволяет, как снизить производственный травматизм, так и повысить производительность труда и улучшить качество выпускаемой продукции.

Как показывают оценки зарубежных специалистов затраты в результате несчастных случаев складываются из прямых и косвенных, причем косвенные затраты могут превышать прямые в 8-36 раз [109].

Например, затраты на оказание первой помощи пострадавшим являются типичными примерами прямых затрат на уровне предприятия. Косвенные затраты не менее реальны, однако они могут быть оценены только на основе детального анализа несчастного случая.

Потенциальные косвенные затраты предприятия в связи с несчастными случаями на производстве:

- потеря прибыли;
- потери производительности;
- нарушение производственного процесса непосредственно после несчастного случая;
- моральное воздействие на коллег по работе;
- привлечение персонала к расследованию несчастного случая;
- расходы по найму и обучению новых работников;
- ущерб оборудованию и материалам;
- снижение качества продукции после несчастного случая;
- сокращение производительности травмированных работников, которые переведены на более легкую работу;
- расходы на содержание резервных мощностей для покрытия потерь, связанных с несчастными случаями [109].

Рассчитаем сумму предотвращенного ущерба на примере несчастного случая.

Описание несчастного случая. На этапе возведения железобетонных конструкций, в результате неправильной строповки, металлическая балка во

время транспортировки сорвалась с мостового крана и упала на работника. Смерть наступила мгновенно. На иждивении у пострадавшего осталось два несовершеннолетних ребенка.

Заработная плата работника составляла 690 рублей в час. Проведение следственных действий и простой в работе составили 2 календарных дня. Мероприятия по приведению в порядок производственного участка, на котором произошел несчастный случай, заняли 16 часов после окончания следственных действий, и были произведены бригадой подсобных рабочих в количестве 3-х человек предприятия (заработная плата каждого – 690 руб./час).

В результате падения металлической балки произошло ее повреждение, которое оказалось невозможно устранить. Стоимость балки составляет 122 тыс. рублей. По результатам расследования с ними был проведен внеплановый инструктаж, занявший 2 час. Расчет ущерба представлен в таблице 3.3 [109].

Таблица 3.3 – Предотвращённый ущерб [109, 110, 119]

№ п/п	Статьи расходов и потерь	Время, час	Стоимость, руб./час	Итого, руб.
1. Первоочередные затраты и потери				
1	Зарплата пострадавшего в день несчастного случая	4	690	2 760
2	Оплата вынужденного простоя работникам участка (8 чел.)	12	690	66 240
3	Оплата вынужденного простоя руководителям участка (2 чел.)	12	1 130	27 120
2. Затраты и потери, связанные с нарушением производственного процесса				
4	Зарплата работников, отвлеченных от работы на восстановление безопасности на месте происшествия (3 чел.)	16	690	33 120
3. Ущерб, нанесенный предприятию				
5	Упущенная прибыль предприятия	12	6 250 000	50 000 000
6	Ущерб вследствие поломки оборудования, инструментов и пр. (строп канатный четырехветевой 4СК 12.5т/6.0м)	-	-	38 000

Продолжение таблицы 3.3

7	Ущерб вследствие разрушения, порчи используемых материалов, сырья, полуфабрикатов и пр. (балка двутавровая 12 м, 1 шт.)	-	-	122 000
4. Затраты на проведение расследования НС				
8	Оплата работы членов комиссии организации, где произошел НС (3 чел.)	120	720	259 200
9	Оплата работы сторонних членов комиссии (4 чел.)	120	1 120	537 600
10	Оплата работы экспертов и проведения экспертиз (2 чел.)	120	1 200	288 000
11	Расходы на проведение экспертизы	-	-	60 000
5. Затраты на реализацию решений комиссии по расследованию				
12	Затраты на проведение внепланового инструктажа работников	-	-	3 000
13	Стоимость работ по устранению последствий НС (работа крана, экскаватора)	16	7 500 – кран 5 000 – экскаватор	195 000
14	Затраты на судебные издержки и услуги юристов	-	-	400 000
6. Штрафы, компенсации и проч. расходы				
15	Штраф ГИТ	-	-	400 000
16	Штраф Ростехнадзора	-	-	300 000
17	Единоразовая компенсация семье погибшего на погребение	-	-	8 370,20
18	Пособия по потере кормильца на одного ребенка с учетом ИПК на момент смерти	-	-	8 134 + 50% от ИПК
19	Компенсация морального ущерба	-	-	250 000
<i>Подлежит вычитанию</i>				
20	Единовременная страховая выплата [74]	-	-	2 000 000
ИТОГО:		-	-	52 988 544,2

Полученный ущерб составляет 52 988 544,2 руб. + 50% от ИПК. Реальный ущерб может оказаться существенно выше на основе данных по исследованиям в области безопасности труда, а также с учетом ежегодной инфляции.

С применением ТИМ становится возможным снизить финансовые потери от ущерба. Предполагаемые суммы предотвращенного ущерба могут оказаться существенно выше, чем сумма затрат на внедрение ТИМ, что позволит окупить ее в короткие сроки.

3.3. Расчет срока окупаемости от внедрения цифровой системы контроля безопасности труда

Производственная компания планирует внедрить смарт-видеоконтроль за применением СИЗ используя стороннее программное обеспечение для автоматизации процессов управления безопасностью труда. Это ПО позволит в том числе вести учет инцидентов и проводить оценку рисков.

Стоимость оборудования, его монтажа и пуско-наладочных работ, программного обеспечения и обучения персонала составляет, согласно полной сметной стоимости 345 613 рублей.

Произведем расчет полной окупаемости с учётом дисконтирования:

- инвестиции составляют 350 000 руб.;
- прогнозируемые денежные потоки (CF):
 - первый год 150 000 руб. (наблюдается снижение затрат на штрафы и расследования несчастных случаев, экономия времени на оформлении локальных документов);
 - второй год 100 000 руб. (дальнейшее снижение инцидентов, более эффективное управление рисками, более эффективное обучение по применению СИЗ и др.);
 - третий год 100 000 руб. (стабилизация показателей, меньший потенциал для роста);
- ставка дисконтирования (r) – 21% (на основе ставки рефинансирования ЦБ РФ на момент декабрь-январь 2024-2025 гг.) [119, 120].

Расчет дисконтированных денежных потоков (DCF), по формуле:

$$DCF = \frac{CF}{(1+r)^n}, \quad (3.3)$$

где: CF – денежный поток в n году, руб.;

r – ставка дисконтирования;

n – номер года.

Таблица 3.4 – Дисконтированный денежный поток [119]

Год (n)	Денежный поток (CF), руб.	Дисконтный множитель $\frac{1}{(1+r)^n}$	Дисконтированный CF (DCF), руб.
1	150 000	$1/(1+0,21)^1 = 0,826$	$150\,000 \cdot 0,826 = 123\,900$
2	150 000	$1/(1+0,21)^2 = 0,683$	$150\,000 \cdot 0,683 = 102\,450$
3	100 000	$1/(1+0,21)^3 = 0,564$	$100\,000 \cdot 0,564 = 56\,400$
4	100 000	$1/(1+0,21)^4 = 0,467$	$100\,000 \cdot 0,467 = 46\,700$
5	55 000	$1/(1+0,21)^5 = 0,385$	$55\,000 \cdot 0,385 = 21\,204$
ИТОГО:	555 000		

Расчет накопленных дисконтированных денежных потоков (DPBP). Для определения DPBP необходимо оценить, когда накопленные DCF превысят первоначальные инвестиции (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Накопленный дисконтированный денежный поток [119]

Год (n)	Дисконтированный CF (DCF), руб.	Накопленный DCF, руб.
0	-350 000 (первоначальные инвестиции)	-350 000
1	123 900	$-350\,000 + 123\,900 = -226\,100$
2	102 450	$-226\,100 + 102\,450 = -123\,650$
3	56 400	$-123\,650 + 56\,400 = -67\,250$
4	46 700	$-67\,250 + 46\,700 = -20\,550$
5	21 204	$-20\,550 + 21\,204 = +654$

Из таблицы 3.5 видно, что:

– к концу 4 года накопленные дисконтированные потоки всё еще отрицательны и составляют -20 550 руб.;

– к концу 5 года дисконтированные потоки положительны и составляют + 654 руб.

Это означает, что дисконтированная окупаемость происходит в период окончания 5 года.

Определение интерполяцией точного расчета DPBP. Для более точного определения срока окупаемости используем формулу интерполяции (3.4):

$$DPBP = n_1 + \left(\frac{|NDCF1|}{DCF3} \right), \quad (3.4)$$

Где n_1 – значение года до окупаемости = 4 год;

$NDCF1$ – накопленный DCF до окупаемости = -20 550 руб. (берем по модулю);

$DCF3$ в год окупаемости дисконтированный CF(DCF) показатель = 21 204 руб.

$$DPBP = 4 + \left(\frac{|20550|}{21204} \right) = 4.97 \text{ года.} \quad (3.5)$$

Следует отметить, что в отношении привлеченных средств направленных на меры по улучшение условий труда и охрану труда (п. 33 Приказа Минтруд РФ № 771н [71]), государственное регулирование позволяет применять пониженную ставку коэффициента дисконтирования, которая составляет 3% в 2025 году [121].

Исходя из этого, при расчете полной окупаемости проекта внедрения СИП получим срок окупаемости проекта равный 1,83 года (1 год 9 месяцев) [119].

Срок окупаемости приведен без учета выгод связанных с предотвращением ущербов, в том числе от несчастных случаев на производстве [119].

Выводы по 3-й главе

1. Дисконтированный срок полной окупаемости без учета выгод от предотвращенного ущерба при действующей ставке рефинансирования 3% равен 1 год 9 месяцев, что является приемлемым сроком.

2. Срок окупаемости приведен без учета выгод связанных с предотвращением ущербов, в том числе от несчастных случаев на производстве.

3. При сравнении суммы предотвращенного ущерба с суммой затрат на внедрение цифровой системы контроля, с применением смарт-видеокамеры, становится очевидной эффективность применения данной системы.

ГЛАВА 4. АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Внедрение результатов исследования в систему мониторинга ГК «Эталон»

Выбор объекта исследования. Исследования проводились на строительной площадке ГК «Эталон» «Пулковский дом» в поселке Шушары.

Площадь жилых помещений строящегося малоэтажного жилого комплекса «Пулковский дом» занимает 11 377 м². Комплекс состоит из трех монолитно-кирпичных корпусов.



Рисунок 4.1 – Рендер ЖК «Пулковский дом» [122]



Рисунок 4.2 – Строительная площадка ЖК «Пулковский дом» [122]

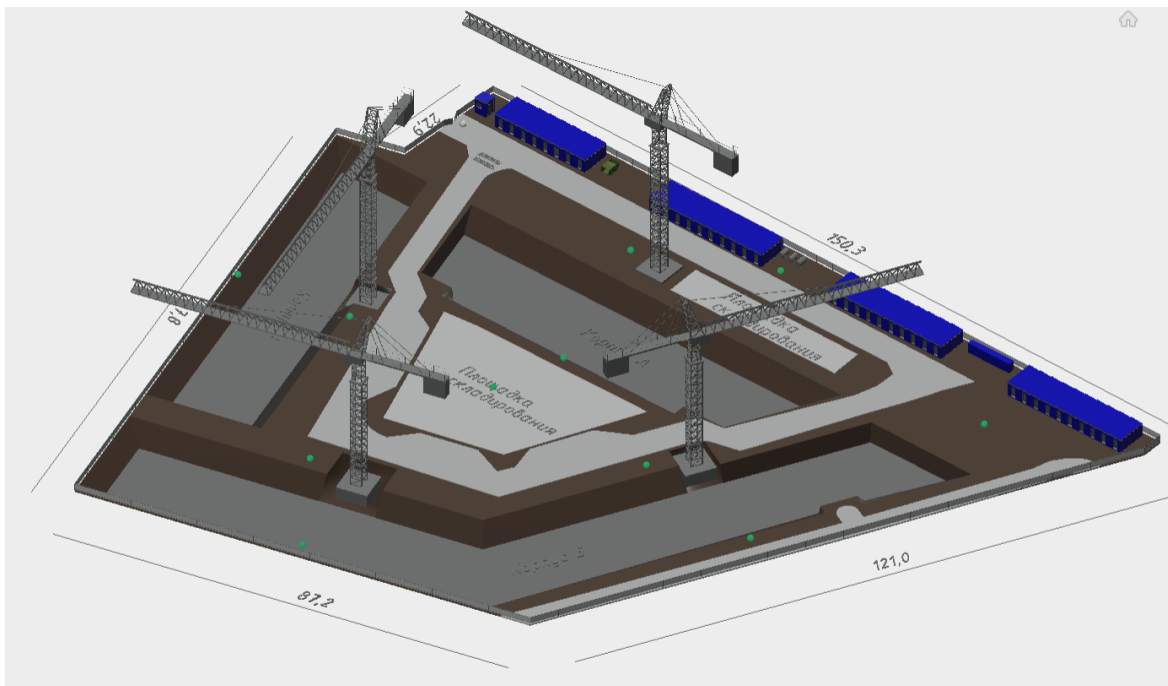


Рисунок 4.3 – ТИМ-модель строительной площадки ЖК «Пулковский дом»

В строительстве объекта принимают участие около 35 подрядных и субподрядных организаций. На момент эксперимента на территории строительной площадки находилось около 150 работников, занятых на завершающих этапах работы.

Постановка цели и задачи эксперимента. Целью эксперимента являлась фиксация времени реагирования на нарушения требований безопасности труда, связанных с применением СИЗ на выбранном строительном участке. Оценка уровня безопасности труда проводилась по двум критериям «Персонал» и «СИЗ» при использовании смарт-видеокамеры с передачей информации в ЦД строящегося объекта.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

1. Внедрены критерии «Персонал» (K_2) и «СИЗ» (K_5) в локальные нормативные акты процесса мониторинга безопасности труда генеральной подрядной организации ООО «Новатор» для ГК «Эталон» [119].
2. Выбрано и установлено оборудование и определены границы его использования.

3. Проведена калибровка оборудования на эталонных образцах СИЗ, применяемых персоналом на стройплощадке.

4. Зафиксированы нарушения в режиме реального времени и реализованы превентивные действия ЛПР.

Выбор метода проведения эксперимента. В качестве основного метода для апробации результатов исследования нами определен метод видеофиксации с применением смарт-видеокамеры TP-LINK VIGI C340S (4 Мп) для регистрации нарушений требований безопасности труда, предоставленная компанией ООО «Визорлабс» [123] в соответствии с Соглашением о сотрудничестве с ФГБОУ ВО «СПбГАСУ» №194 от 25.11.2024 г., дающее возможность использовать технологии видеонаблюдения с применением машинного зрения. Производители заявляют, что погрешность составляет не более - 0,5 % [124].

Определение критериев. Для определения соответствия или несоответствия уровня безопасности труда нормативным требованиям необходимо руководствоваться эталонными образцам СИЗ по видам работ. Эталоны загружаются в модель, затем видеокамеры фиксируют надетые СИЗ и оценивают их по загруженным образцам. По результатам оценки определяется итоговое состояние критерия (по цветовой шкале на рисунке 2.6). Результаты проверки выдаются ЛПР с рекомендованными мероприятиями по повышению уровня безопасности исследуемых критериев.

Характеристики оборудования. При выборе камеры стоит обратить внимание на ее характеристики. Например, выбранная модель смарт-видеокамера TP-LINK VIGI C340S (4 Мп), которая позволяет рассмотреть даже мелкие детали, имеет следующие характеристики:

- диапазон рабочих температур от -40 до $+60$ °C;
- минимальный уровень освещённости 0,005 Лк;
- угол обзора горизонтали - $95,2^\circ$, по вертикали - $50,6^\circ$, по диагонали - $114,7^\circ$;
- поворот на 90 или 270° ;
- дальность обнаружения до 70 м;
- максимальное разрешение - 2688×1520 ;

- частота кадров в секунду - 20;
- скорость передачи данных от 256 Кбит/с до 6 Мбит/с;
- скорость захвата объекта до 0,3 сек;
- Степень защиты корпуса - IP67;
- требования к локальной сети Wi-Fi - 100 Мбит/сек и т.д. [125]

Определение объекта и выборки исследования. В качестве экспериментального участка была выбрана небольшая площадка у строящегося корпуса ЖК «Пулковский дом», расположенная напротив санитарно-бытовых помещений для персонала строительной площадки (см. рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Исследуемый участок строительной площадки ЖК «Пулковский дом» [122]

На данном объекте проводились завершающие виды работ (фасадные отделочные работы) со строительных лесов, с привлечением работников подрядных организаций.

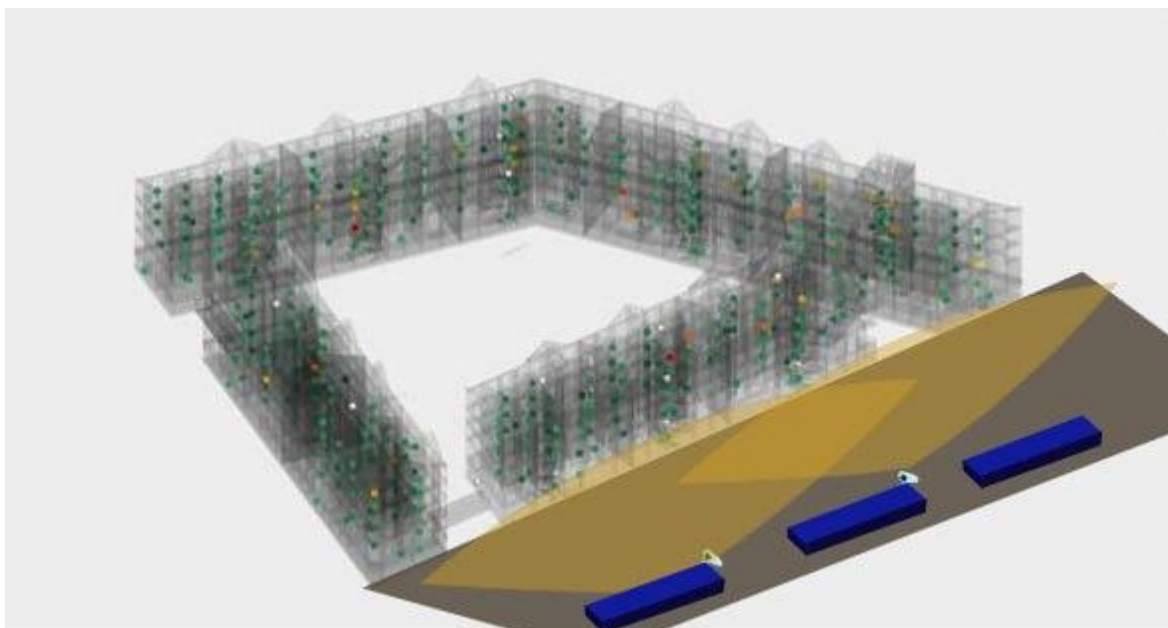


Рисунок 4.5 – Расположение смарт-видеокамер для исследования участка строительной площадки ЖК «Пулковский дом»

На рисунке 4.5 изображена ТИМ-модель того же исследуемого участка с расположением смарт-видеокамер. Были установлены две видеокамеры, направленные на исследуемый участок, со стороны санитарно-бытовых помещений. Видеофиксация проводилась в режиме реального времени производства фасадных отделочных работ за два полных рабочих дня с интервалом в две недели. Интервал соответствует частоте обхода специалистом из отдела мониторинга и специалистом по охране труда.

Вся информация, зафиксированная смарт-камерами, поступает в ЦД объекта строительства, на котором обозначается маркерами в виде точек с цветовым обозначением, соответствующим шкале уровня безопасности (см. рис. 2.6).

Определение мешающих параметров, калибровка. В процессе сбора информации с применением смарт-камер не стоит забывать о препятствиях, мешающих своевременному получению данных. В числе причин, затрудняющих поступлению информации:

- слабый сигнал Wi-Fi;

- возникающие преграды (строительные машины и др., грузы) на пути видеофиксации;
- погодные условия (морось, наледь, снежные хлопья, солнечные блики и от отражающих поверхностей);
- прекращение электроснабжения.

Калибровка камеры производилась на людях, экипированных в эталонные СИЗ на максимальном и минимальном возможных расстояниях, на которых производится фиксация в соответствии с техническими возможностями камеры.

Исходя из паспорта оборудования, камера распознаёт правильное применение СИЗ на минимальном расстоянии около 10 метров, и на максимальном – 70 метров. Одновременно с этим камере предлагается к различению работник, не полностью экипированный в СИЗ (например, отсутствие каски, спецодежды и проч.) (см. рис. 4.6).



Рисунок 4.6 – Пример использования смарт-камеры

Контрольная группа. Основную эталонную базу (см. рис. 4.7) представляют фотографии, взятые из ранее проведенного мониторинга нарушений специалистами из Департамента службы мониторинга ГК «Эталон». Отмеченные на рисунке 4.7 эталонные СИЗ соответствуют требованиям Единых

типовых норм выдачи СИЗ [126] и Технического регламента Таможенного союза «О безопасности средств индивидуальной защиты» [127].



Рисунок 4.7 – Эталонные примеры СИЗ

Результаты. В результате проведения эксперимента (Приложение Б) были зафиксированы нарушения требований безопасности труда 2 способами:

1. При личном визуальном обходе. Обход, как правило, осуществляет группа специалистов, включающая представителей отдела мониторинга, охраны труда и инженерно-технических работников на строительной площадке. Стандартный обход производится с периодичностью один раз в две недели.
2. При использовании смарт-камеры для видеофиксации нарушений требований безопасности труда (в течение всего рабочего дня).

В первом случае при обходе специалисты отметили на выбранном участке несколько нарушений касательно применения СИЗ:

- отсутствие каски;
- отсутствие перчаток;
- неправильное применение страховочной системы

- отсутствие спецобуви и др.

Стоит отметить, что затраченное время на осмотр данного участка составило 1,5 часа, а количество нарушений – 4.

Во втором случае при видеофиксации в режиме реального времени за период работы, т.е. за 8-часовую рабочую смену, были отмечены те же нарушения, как и в первом случае, однако, их количество составило 43 случая. Также при поступлении информации на носитель, работник, проводящий мониторинг, может находиться в удаленном режиме, что не требует трудозатрат на проведение личного обхода и осмотра объекта контроля.

При проведении эксперимента, важным результатом, полученным нами, была регистрация промежутка времени между фиксацией нарушения и временем реагирования ЛПР на данное нарушение. Следует отметить тот факт, что данный интервал времени принятия решения составлял в среднем 1-3 минуты. Сравнительные показатели представлены в таблице 4.1. Полученные показатели являются несомненным преимуществом перед стандартным методом обхода и осмотра.

Таблица 4.1 – Показатели ручного метода и с применением ТИМ

	Ручной метод	Применение ЦД
Период проведения мониторинга	Во время смены (2 часа)	В течение 8-часовой рабочей смены
Частота проведения проверок	1 раз в 2 недели	В течение рабочей смены
Количество зафиксированных нарушений	4	43
Время реагирования на нарушение с момента фиксации	По обстоятельствам	В течение 1-3 минут

Превентивные действия ЛПР заключались в оповещении нарушившего нормы безопасности труда работника и его непосредственного руководителя, с предписанием немедленного устранения несоответствий.

4.2. Внедрение результатов исследования в образовательный процесс СПбГАСУ

В 2022 г. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (далее – СПбГАСУ) получил статус федеральной инновационной образовательной площадки, где реализует инновационный образовательный проект «Современные образовательные технологии для обеспечения безопасности труда в строительной отрасли». Целью проекта является «создание инновационной методики, формирующей безопасную поведенческую модель студентов и работников на строительных площадках отрасли с помощью инновационных методов обучения» [128].

В рамках данного проекта результаты диссертационного исследования были внедрены в учебный процесс кафедры «Техносферная безопасность» по направлениям подготовки 20.03.01 и 20.04.01 «Техносферная безопасность» в следующие дисциплины:

- «Информационное моделирование в строительстве (ТИМ)»;
- «Моделирование процессов и объектов для решения специальных задач»;
- «Информационное моделирование в профессиональной сфере (BIM)»;
- «Организация охраны труда в строительной отрасли»;
- «Надзор и контроль в сфере охраны труда».

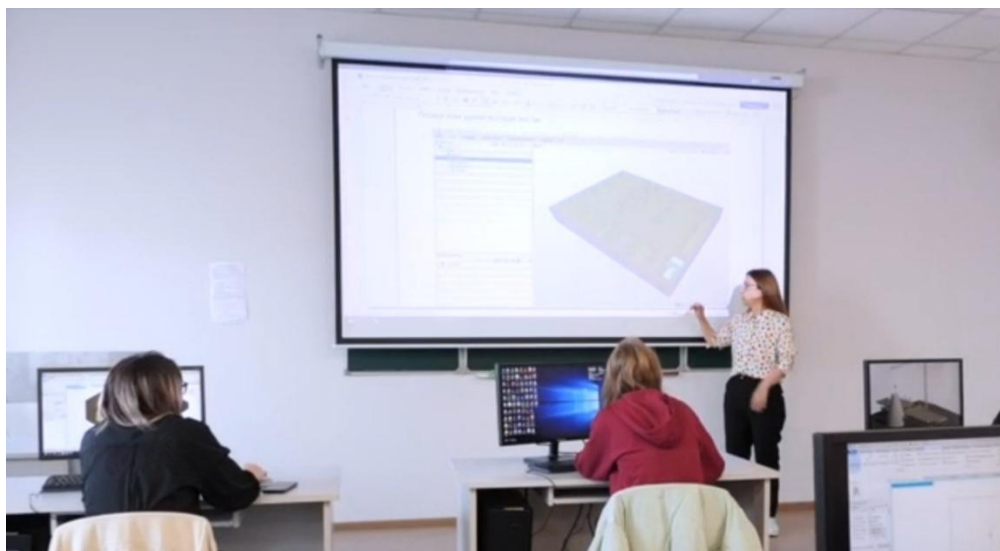


Рисунок 4.7 – Процесс обучения в аудитории СПбГАСУ

В рамках дисциплины «Информационное моделирование в строительстве (ТИМ)» проводится подготовка обучающихся к Межвузовскому конкурсу «ТИМ в охране труда» на базе Полигон «Умный труд» при поддержке ГК «Эталон», которая является российским лидером по внедрению ТИМ в строительство, в том числе в систему управления охраной труда.

В процессе обучения студенты развивают компетенции, связанные с применением ТИМ, и учатся:

- оценивать уровень безопасности по исследуемым критериям (табл. 2.6);
- моделировать возможное развитие негативных событий;
- давать общую оценку уровня безопасности на 18-ти учебных инсталляциях;
- использовать нормативную базу для формирования рекомендаций по устранению несоответствий с утвержденными требованиями (Приложение Б).



Рисунок 4.8 – Межвузовский конкурс «ТИМ в охране труда»

Выводы по 4-й главе

В результате апробации цифровой системы контроля с применением ЦД на строительной площадке ЖК «Пулковский дом» Группы «Эталон» получены следующие результаты:

1. По итогу сравнительного анализа стандартного обхода и получения информации о нарушениях с помощью визуального осмотра, проведенными специалистами, и применения смарт-камеры для получения информации о нарушениях в режиме реального времени были получены данные о несоблюдении норм безопасности труда в короткий промежуток времени. Время реагирования на нарушение сократилось с двух недель до 1-3 минут.

2. Количество трудозатрат снизилось за счет высвобождения времени от проведения обходом и сокращения количества специалистов, задействованных в обходе.

3. Период мониторинга и контроля за соблюдением требований безопасности труда составляет полный рабочий день вместо 1-2 часов личного обхода и визуального осмотра рабочих мест на строительной площадке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения диссертационного исследования в области контроля безопасности труда с применением ТИМ на строительной площадке была достигнута поставленная цель и получены следующие результаты:

1. Выбраны и обоснованы критерии оценки уровня безопасности труда для создания цифровой системы контроля в строительной отрасли в результате сравнительного анализа действующей системы мониторинга с предложенной к усовершенствованию и апробированной на действующей строительной площадке ЖК «Пулковский дом» Группы «Эталон».

2. Разработана математическая модель системы информационной поддержки принятия решений в обеспечении контроля безопасности труда на строительной площадке с учетом динамики производства работ. Данная автоматизированная система контроля позволяет определить значения опасных и вредных производственных факторов в реальном времени для предотвращения производственного травматизма. На основе модели разработан алгоритм функционирования цифровой системы контроля безопасности труда на строительной площадке, позволяющий идентифицировать уровень безопасности как по отдельному критерию, так и всего объекта в целом.

3. Обосновано применение ЦД объекта строительства для сигнализации об опасностях в целях превентивных мер для соблюдения нормативных требований при выполнении работ. Дано определение «цифровой двойник» с точки зрения безопасности труда, а также сформулированы требования к двойнику.

4. Проведена оценка экономического обоснование эффективности применения ТИМ в безопасности труда. Приведен расчет предотвращенного ущерба от несчастного случая на производстве, который показал уровень материальных потерь существенно превышающих уровень затрат на внедрение системы информационной поддержки принятия решений на основе ЦД.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Указ Президента РФ "О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года" от 07.05.2024 № № 309 // Официальный интернет-портал правовой информации. — 2024 г.
2. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) (статьи 1 - 453) от 30.11.1994 // Российская газета. — 1994 г. — с изм. и допол. в ред. от 31.10.2024.
3. Стратегия «Агрессивное развитие инфраструктуры» // Агентство новостей "Строительный Бизнес". URL: https://ancb.ru/files/ck/1618305869_Husnullin_i_Plan_Mishustina.pdf (дата обращения: 27.09.2024).
4. Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2023 году // Единая общероссийская справочно-информационная система по охране труда. URL: https://eisot.rosmintrud.ru/attachment/Result2023_new (дата обращения: 20.11.2024).
5. A digital twin approach for tunnel construction safety early warning and management / Z. Ye, Y. Ye, Z. Zhang [и др.] // Computers in Industry. – 2023. – №. 144.
6. Rey, R.O. Design and implementation of a computerized safety inspection system for construction sites using UAS and digital checklists – Smart Inspects / R.O. Rey, R. R. Santos de Melo, D. B. Costa // Safety Science. – 2021. – №. 143.
7. Attaining digital transformation in construction: An appraisal of the awareness and usage of automation techniques / A. E. Oke, J. Aliu, P. O. Fadamiro [и др.] // Journal of Building Engineering. – 2023. – №. 67.
8. Zorzenon, R. What is the potential impact of industry 4.0 on health and safety at work? / R. Zorzenon, F. L. Lizarelli, D. Moura // Safety Science. – 2022. – №. 153.
9. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review / D. Jones, C. Snider, A. Nassehi [и др.] // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. – 2020. – №. 29. – С. 36-52.

10. A paradigm of safety management in Industry 4.0 / Z. Liu, K. Xie, L. Li, Y. Chen // Behav Sci. – 2020. – №. 37. – С. 632-645.
11. Нам, Г. Е. Цифровая трансформация в системе управления охраной труда. Перспективы развития / Г. Е. Нам, О. В. Горбунова // Безопасность в строительстве : Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 24–25 ноября 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 111-119. – EDN UUNQKI.
12. Троценко, Е. В. Цифровизация в области охраны труда / Е. В. Троценко, А. И. Горбатенко, Т. Г. Павленко // Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее : сборник научных статей 5-й Всероссийской научной конференции : в 4 т., Курск, 20–21 октября 2022 года. Том 4. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 88-92.
13. Тимофеев, С. С. Цифровое будущее охраны труда / С. С. Тимофеев, С. С. Тимофеева // XXI век. Техносферная безопасность. – 2022. – Т. 7, № 1(25). – С. 51-62. – DOI 10.21285/2500-1582-2022-1-51-62. – EDN BNMKMY.
14. Шарманов, В. В. Идентификация местоположения работника на объекте строительства с помощью цифрового двойника / В. В. Шарманов, Т. Л. Симанкина, И. А. Горбачев // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2022. – № 3. – С. 70-80. – EDN TJRITJ.
15. Гусарова, Н. Ю. Цифровая автоматизация в обеспечении безопасности труда / Н. Ю. Гусарова // Актуальные исследования. – 2021. – № 46(73). – С. 9-12. – EDN VHZLLX.
16. Нам, Г. Е. Критерии контроля уровня безопасности труда для организации цифровой системы мониторинга на строительной площадке / Г. Е. Нам, О. В. Горбунова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, № 1(61). – С. 90-97. – EDN DNEPBX.
17. Нам, Г. Е. Возможности информационного моделирования внедренного в систему управления охраной труда / Г. Е. Нам, В. В. Георгиади // Безопасность в строительстве : Материалы IV Всероссийской научно-практической

конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 21–22 ноября 2019 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – С. 233-238. – EDN BVZBKZ.

18. Цифровые двойники: как BIM-технологии меняют городскую застройку // Градостроительный комплекс Москвы : сайт. – URL: <https://stroi.mos.ru/articles/tsifrovyye-dvoyniki-kak-bim-tiekhnologhii-mieniaiut-ghorodskuiu-zastroiku?from=cl> (дата обращения: 25.01.2025).

19. Организационная устойчивость (Серия «Harvard Business Review: 10 лучших статей») / пер. с англ. М., 2022. 248 с.

20. Трудовой кодекс Российской Федерации от 13.12.2001 № 197-ФЗ // Российская газета. - 2001 г. - с изм. и допол. в ред. от 26.12.2024.

21. Li, Y. Safety management systems: A broad overview of the literature / Y. Li, F. W. Guldenmund // Safety Science. – 2018. – №. 103. – С. 94-123. – ISSN 0925-7535.

22. Mohammadi, A. Factors influencing safety performance on construction projects: A review / A. Mohammadi, M. Tavakolan, Y. Khosravi // Safety Science. – 2018. – №. 109. – С. 382-397. – ISSN 0925-7535.

23. Safety management in construction: 20 years of risk modeling / M. Alkaissy, M. Arashpour, B. Ashuri, R. Hosseini // Safety Science. – 2020. – №. 129.

24. Khalid, U. Safety Management System (SMS) framework development – Mitigating the critical safety factors affecting Health and Safety performance in construction projects / U. Khalid, A. Sagoo, M. Benachir // Safety Science. – 2021. – № 143.

25. Мониторинг условий и охраны труда // Единая общероссийская справочно-информационная система по охране труда : сайт. – URL: <https://eisot.rosmintrud.ru/monitoring-uslovij-okhrany-truda> (дата обращения: 25.01.2025).

26. Automated classification of construction site hazard zones by crowd-sourced integrated density maps / H. Li, X. Yang, M. Skitmore [и др.] // Automation in Construction. – 2017. – № 81. – С. 328-339. – ISSN 0926-5805.

27. Кулешов, В. В. "Превентивные Индикаторы" для повышения уровня культуры безопасности / В. В. Кулешов, В. С. Сердюк, А. И. Фомин // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2021. – № 3. – С. 59-69. – DOI 10.25558/VOSTNI.2021.80.89.007. – EDN OJAHIO.
28. Проблемы и перспективы формирования системы проактивного мониторинга безопасности работников предприятий горнодобывающей отрасли / И. П. Карначев, С. П. Левашов, Н. К. Смирнова, П. И. Карначев // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 10. – С. 48-54. – DOI 10.24000/0409-2961-2020-10-48-54. – EDN OASAMW.
29. Safety leading indicators in construction: A systematic review / J. Xu, C. Cheung, P. Manu, O. Ejohwomu // Safety Science. – 2021. – №. 139.
30. Oswald, D. Problems with safety observation reporting: A construction industry case study / D. Oswald, F. Sherratt, S. Smith // Safety Science. – 2018. – №. 107. – С. 35-45. – ISSN 0925-7535.
31. Нам, Г. Е. Интеграция BIM-технологий и управления безопасностью в строительстве для минимизации травматизма / Г. Е. Нам // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2021. – Т. 10, № 1(53). – С. 174-179. – DOI 10.46548/21vek-2021-1053-0032. – EDN GJGQUD.
32. ГОСТ Р ИСО 45001-2020. Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования и руководство по применению : дата введения 2021-04-01. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 40 с.
33. ГОСТ Р 12.0.007-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Система управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию : дата введения 2010-07-01. – Москва : Стандартиформ, 2009. – 42 с.
34. Xu, Q. Collaborative information integration for construction safety monitoring / Q. Xu, H. Chong, P. Liao // Automation in Construction. – 2019. – №. 102. – С. 120-134. – ISSN 0926-5805.

35. Dong, S. Building information modeling in combination with real time location systems and sensors for safety performance enhancement / S. Dong, H. Li, Q. Yin // Safety Science. – 2019. – №. 102. – С. 226-237. – ISSN 0925-7535.
36. Субботина, Н. А. Методологические подходы к снижению травматизма на строительной площадке по вине человеческого фактора / Н. А. Субботина, Г. Е. Нам, Т. Н. Гончарук // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2021. – Т. 10, № 2(54). – С. 210-215. – DOI 10.46548/21vek-2021-1054-0041. – EDN HYBWMM.
37. Вихров, С. В. Контроль в рамках системы управления охраной труда / С. В. Вихров, В. В. Иванов // Охрана труда и техника безопасности в строительстве : электронный журнал. – URL: <https://panor.ru/articles/kontrol-v-ramkakh-sistemy-upravleniya-okhranoy-truda/57044.html>. – Дата публикации: 09.01.2018.
38. Почему камера для видеонаблюдения не подходит для онлайн-трансляций // Smart-AV : сайт. – URL: https://smart-av.ru/blog/pochemu-kamera-dlya-videonablyudeniya-ne-podhodit-dlya-onlajn-translyacij?srsltid=AfmBOopo9hJxDsAdHRHHEpGH7_whdK5TgH3yJS33y_Jja-a56H7nLkMz (дата обращения: 25.01.2025).
39. Российский производитель систем видеонаблюдения : сайт. – URL: <https://www.dssl.ru/upload/iblock/eb1/Rukovodstvo-polzovatelya.pdf> (дата обращения: 25.01.2025).
40. A paradigm of safety management in Industry 4.0 / Z. Liu, K. Xie, L. Li, Y. Chen // Systems Research and Behavioral Science. – 2020. – Т. 37, № 4. – С. 632-645.
41. Impact of Industry 4.0 on Occupational Health and Safety / A. Polak-Sopinska, Z. Wisniewski, A. Walaszczyk, A. Maczewska // Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control. – Switzerland : Springer. – 2019. – С. 40-52. – ISBN 978-3-030-20493-8.
42. Adem, A. Occupational health and safety risk assessment in the domain of Industry 4.0 / A. Adem, E. Çakıt, M. Dağdeviren // SN Applied Sciences. – 2020. – №. 2. – С. 1-6.

43. Nicoletti, L. Human factors in occupational health and safety 4.0: a cross-sectional correlation study of workload, stress and outcomes of an industrial emergency response / L. Nicoletti, A. Padovano // *International Journal of Simulation and Process Modelling*. – 2019. – №. 14. – C. 178 - 195.
44. Badri, A. Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? / A. Badri, B. Boudreau-Trudel, A. S. Souissi // *Safety Science*. – 2018. – №. 109. – C. 403-411.
45. Erol, M. Occupational health and work safety systems in compliance with industry 4.0: research directions / M. Erol // *International Journal of eBusiness and eGovernment Studies*. – 2019. – №. 11. – C. 119-133.
46. Developing a machine learning-based building repair time estimation model considering weight assigning methods / N. Kwon, Y. Ahn, B.-S. Son, H. Moon // *Journal of Building Engineering*. – 2021. – №. 43.
47. The Fourth Industrial Revolution and Its Impact on Occupational Health and Safety, Worker's Compensation and Labor Conditions, Safety and Health at Work / Min, J., Kim, Y., Lee, S., Jang, T.W. – 2019. – №. 10. – C. 400-408.
48. A Preventive Ergonomic Approach Based on Virtual and Immersive Reality / F. Caputo, A. Greco, I. Amato [и др.] // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2018. – №. 588. – C. 3-15.
49. An Industry 4.0 Solution for the Detection of Dangerous Situations in Civil Work Scenarios / B. Bordel, R. Alcarria, T. Robles, D. González // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2019. – №. 918. – C. 494-504.
50. Molka-Danielsen, J. Large scale integration of wireless sensor network technologies for air quality monitoring at a logistics shipping base / J. Molka-Danielsen, P. Engelseth, H. Wang // *Journal of Industrial Information Integration*. – 2018. – №. 10. – C. 20-28.
51. Winge, S. A comparative analysis of safety management and safety performance in twelve construction projects / S. Winge, E. Albrechtsen, J. Arnesen // *Journal of Safety Research*. – 2019. – №. 71. – C. 139-152. – ISSN 0022-4375.

52. Zhang, M. A critical review of vision-based occupational health and safety monitoring of construction site workers / M. Zhang, R. Shi, Z. Yang // Safety Science. – 2020. – №. 126.
53. Indoor positioning systems in industry 4.0 applications: Current status, opportunities, and future trends / P. Li, W. Wu, Z. Zhao, G. Q. Huang // Digital Engineering. – 2024. – №. 3.
54. Construction quality management based on a collaborative system using BIM and indoor positioning / Z. Ma, S. Cai, N. Mao, Q. Yang // Automation in Construction. – 2018. – №. 92. – С. 35-45.
55. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования : дата введения 2015-11-01. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 32 с.
56. Распоряжение Правительства Российской Федерации "О плане мероприятий по использованию технологий информационного моделирования при проектировании и строительстве объектов капитального строительства, а также по стимулированию применения энергоэффективных и экологичных материалов, в том числе с учетом необходимости их производства в Российской Федерации" от 13.12.2001 № 3719-р // Официальный интернет-портал правовой информации. - 2021 г. - с изм. и допол. в ред. от 16.01.2024.
57. Третью застройщиков в стране применяет технологии информационного моделирования // ДОМ.РФ URL: <https://дом.рф/media/news/dom-rf-tret-zastroyschikov-v-strane-primenyaet-tekhnologii-informatsionnogo-modelirovaniya/> (дата обращения: 26.12.2024).
58. С 1 января все госзаказы в строительстве переходят на BIM. Что это значит? // РБК URL: <https://realty.rbc.ru/news/61a5f94a9a7947ee877ca1b1> (дата обращения: 26.12.2024).
59. Шарманов, В. В. Мониторинг и оценка уровня охраны труда строительного производства с привлечением комплекса средств BIM-технологии : специальность 05.26.01 "Охрана труда (строительство)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шарманов Владимир Владимирович. – Санкт-Петербург, 2020. – 140 с.

60. Smart construction sites: A promising approach to improving on-site HSE management performance / M. Xu, X. Nie, H. Li [и др.] // Journal of Building Engineering. – 2022. – №. 49. – ISSN 2352-7102
61. Khan, S. I. RFID localization in construction with IoT and security integration / S. I. Khan, B. R. Ray, N. C. Karmakar // Automation in Construction. – 2024. – №. 159. – ISSN 0926-5805.
62. Постановление Правительства РФ "Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд" от 16.11.2015 № 1236 // Официальный интернет-портал правовой информации. - 2015 г. - с изм. и допол. в ред. от 30.11.2023.
63. Постановление Правительства РФ "Об установлении случаев, при которых застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства" от 05.03.2021 № 331 // Официальный интернет-портал правовой информации. - 2021 г. - с изм. и допол. в ред. от 20.12.2022.
64. Группа "Эталон" : сайт. – URL: <https://etalongroup.ru/spb/> (дата обращения: 26.01.2025).
65. Группа "Эталон" запатентовала систему контроля охраны труда на базе технологии BIM // Группа "Эталон" : сайт. – URL: https://etalongroup.ru/msk/news/gruppa_etalon_zapatentovala_sistemu_kontrolya_okhrany_truda/ (дата обращения: 26.01.2025).
66. Горбунова, О. В. Математическая модель процесса мониторинга безопасности труда на предприятиях строительной отрасли с применением технологии информационного моделирования / О. В. Горбунова, Г. Е. Нам, П. И. Падерно // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, № 4(64). – С. 229-238. – EDN DJONTF.

67. Шарманов, В. В. ТИМ - инструмент контроля, применяемый службой охраны труда / В. В. Шарманов, М. А. Романович // Техносферная безопасность : материалы Девятой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Омск, 25 апреля 2022 года / Омский государственный технический университет. – Омск: Омский государственный технический университет, 2022. – С. 148-151. – EDN SKBMGA.
68. Федосов, С. В. Систематизация цифровых решений по обеспечению безопасных условий труда на основе информационных моделей объектов строительства / С. В. Федосов, Е. А. Король, М. О. Баканов // Строительство и техногенная безопасность. – 2023. – № 29(81). – С. 41-57. – EDN EELSZX.
69. ТР ТС 010/2011 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности машин и оборудования" от 18.10.2011 № 010/2011 // Официальный сайт Комиссии таможенного союза. - 2011 г. - с изм. и допол. в ред. от 24.11.2023.
70. Горбунова, О. В. Математическое моделирование системы контроля безопасности труда на строительной площадке для внедрения в технологии информационного моделирования / О. В. Горбунова, Г. Е. Нам, П. И. Падерно // Безопасность жизнедеятельности. – 2024. – № 8(284). – С. 17-26. – EDN JFPSIQ.
71. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации "Об утверждении Примерного перечня ежегодно реализуемых работодателем мероприятий по улучшению условий и охраны труда, ликвидации или снижению уровней профессиональных рисков либо недопущению повышения их уровней" от 29.10.2021 № 771н // Официальный интернет-портал правовой информации. - 2021 г. - с изм. и допол. в ред. от 20.12.2022.
72. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. Пер. с англ. под ред. Б. В. Гнеденко. - М.: Советское радио, 1969. - 488 с
73. Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте : Федеральный закон от 27 июля 2010 г. № ФЗ-225 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2010. – № 31.

74. Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний : Федеральный закон от 24 июля 1998 г. № ФЗ-125 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1998. – № 31.
75. Harnessing BIM with risk assessment for generating automated safety schedule and developing application for safety training / S. P. Singh, L. E. Mansuri, D. A. Patel, S. Chauhan // Safety Science. – 2023. – №. 164.
76. A multiple buffering high-fall protection structure and its impact response / L. Liao, Z. Yu, D. Liu [и др.] // Structures. – 224. – №. 63.
77. VizerLabs : сайт. – URL: <https://vizerlabs.ru/products/health-safety/> (дата обращения: 26.01.2025).
78. CAPEКС : сайт. – URL: <https://www.sarex.io/media/cifrovoy-dvoynik-dlya-monitoringa-bezopasnosti-i-prozrachnosti-processov-v-stroitelstve> (дата обращения: 26.01.2025)
79. Gupta, S. A review of the emerging role of UAVs in construction site safety monitoring / S. Gupta, S. Nair // Materials Today: Proceedings. – 2023. – ISSN 2214-7853.
80. BIM and sensor-based data management system for construction safety monitoring / Z. Riaz, E. A. Parn, D. J. Edwards [и др.] // Journal of Engineering Design and Technology. – 2017. – № 15. – С. 738-753.
81. Data-driven monitoring system for preventing the collapse of scaffolding structures / C. Cho, K. Kim, J. Park, Y.K. Cho // Journal of Construction Engineering and Management. – 2018. – №. 144.
82. Soltani, M. M. Framework for location data fusion and pose estimation of excavators using stereo vision / M. M. Soltani, Z. Zhu, A. Hammad // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2018. – № 32.
83. Noruwa, B. I. Effects of emerging technologies in minimising variations in construction projects in the UK / B. I. Noruwa, A. O. Arewa, C. Merschbrock // International Journal of Construction Management. – 2020. – №. 22. – С. 2199-2206.

84. Computer vision-based interior construction progress monitoring: a literature review and future research directions / B. Ekanayake, J. K. W. Wong, A. A. F. Fini, P. Smith // Automation in Construction. – 2021. – № 127.
85. Grieves, M. Digital Twin, Manufacturing Excellence Through Virtual Factory Replication / M. Grieves // White Pap : электронный журнал. – URL: https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication. – Дата публикации: 2014 (дата обращения 26.01.25).
86. Deloitte, Siemens and the model-based enterprise: The future of the digital twin - thought leadership // Siemens : сайт. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/thought-leadership/2023/04/05/deloitte-siemens-and-the-model-based-enterprise-the-future-of-the-digital-twin/> (дата обращения: 26.01.25).
87. What is a digital twin? // IBM : сайт. – URL: <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin> (дата обращения: 26.01.25).
88. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения : дата введения 2022-01-01. – Москва : ФГБУ "РСТ", 2021. – 16 с.
89. Lu, Y. Cloud-based manufacturing equipment and big data analytics to enable on-demand manufacturing service / Y. Lu, X. Xu // Rob Comput Integr Manuf. – 2019. – №. 57. – С. 92-102.
90. Leng, J. ManuChain: Combining permissioned blockchain with a holistic optimization model as bi-level intelligence for smart manufacturing / J. Leng // IEEE Trans Syst, Man, Cybern: Syst. – 2019. – №. 50. – С. 182-192.
91. Kaur, M. J. The convergence of digital twin, IoT, and machine learning: transforming data into action / M.J. Kaur, V.P. Mishra, P. Maheshwari // Digital Twin Technologies and Smart Cities. – 2020. – С. 3-17.
92. Attaran, M. Digital twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities / M. Attaran, B.G. Celik // Decision Analytics Journal. – 2023. – №. 6.
93. What is digital twin technology? And what are the benefits? // Autodesk : сайт. – URL: <https://www.autodesk.com/solutions/digital-twin> (дата обращения: 26.01.25)

94. Gulewicz, M. Digital twin technology — awareness, implementation problems and benefits / M. Gulewicz // *Engineering Management in Production and Services*. – 2022. – №. 14. – С. 63-77.
95. Шарманов, В. В. Идентификация местоположения работника на объекте строительства с помощью цифрового двойника / В. В. Шарманов, Т. Л. Симанкина, И. А. Горбачев // *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. – 2022. – № 3. – С. 70-80. – EDN TJRITJ.
96. Al-Saeed, Y. Automating construction manufacturing procedures using BIM digital objects (BDOs) / Y. Al-Saeed, D. J. Edwards, S. Scaysbrook // *Construction Innovation*. – 2020. – № 20. – С. 345-377. – ISSN 1471-4175.
97. Kaewunruen, S. Digital twin aided sustainability and vulnerability audit for subway stations / S. Kaewunruen, S. Peng, O. Phil-Ebosie // *Sustainability*. – 2020. – № 12.
98. Sepasgozar, S. Differentiating digital twin from digital shadow: elucidating a paradigm shift to expedite a smart, sustainable built environment / S. Sepasgozar // *Buildings*. – 2021. – № 11.
99. Tuhaise, V. V. Technologies for digital twin applications in construction / V. V. Tuhaise, J. H. M. Tah, F. H. Abanda // *Automation in Construction*. – 2023. – № 152.
100. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: present status and future trends / S. Tang, D. R. Sheldon, C. M. Eastman [и др.] // *Automation in Construction*. – 2019. – № 101. – С. 127-139.
101. Towards future BIM technology innovations: a bibliometric analysis of the literature / A. Khudhair, H. Li, G. Ren, S. Liu // *Applied Sciences*. – 2021. – № 11.
102. Kaur, M. J. The convergence of digital twin, IoT, and machine learning: Transforming data into action / M. J. Kaur, V. P. Mishra, P. Maheshwari // *Digital Twin Technologies and Smart Cities*. – 2020. – С. 3-17.
103. Нам, Г. Е. Цифровой двойник как инструмент для реализации цифровой системы контроля безопасности труда / Г. Е. Нам // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2024. – Т. 13, № 4(68). – С. 224-229. – EDN DDRBDW.

104. СП 333.1325800.2020 "Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла" : – Москва : Стандартинформ, 2020. – 226 с.
105. Приказ Минтруда России "Об утверждении Правил по охране труда при строительстве, реконструкции и ремонте" от 11.12.2020 № 883н // Официальный интернет-портал правовой информации. – 2020.
106. Singh, M. Digital twin: Origin to future / M. Singh, E. Fuenmayor, E.P. Hinchy // Appl. Syst. Innov. – 2021. – № 2.
107. Farahani, B. The convergence of IoT and distributed ledger technologies (DLT): Opportunities, challenges, and solutions / B. Farahani, F. Firouzi, M. Luecking // Journal of Network and Computer Applications. – 2021. – № 177.
108. Feng, H. Application of digital twin technologies in construction: an overview of opportunities and challenges / H. Feng, Q. Chen, B.G. de Soto // Civil Engineering. – 2021. – Т. 2021-November. – С. 979-986.
109. Основы экономики охраны труда на предприятии // International Labour Organization (ILO) : сайт. – URL: <https://www.ilo.org/ru/media/331871/download> (дата обращения: 26.01.2025).
110. Сердюк, В. С. Экономический ущерб от неблагоприятных условий труда / Сердюк В. С., Бакино Е. В. // Восток-Сервис. – 2010. – № 2. – С.50-58.
111. Quantifying the influence of BIM adoption: An in-depth methodology and practical case studies in construction / L. Gharaibeh, S. Matarneh, B. Lantz, K. Eriksson // Results in Engineering. – 2024. – № 23. – С. /. – ISSN 2590-1230.
112. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации : сайт. – URL: https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/?utm_referrer=https://www.google.com/ (дата обращения: 26.01.2025).
113. 30% застройщиков в стране применяют технологии информационного моделирования // Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации : сайт. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/30->

zastroyshchikov-v-strane-primenyayut-tekhnologii-informatsionnogo-modelirovaniya/ (дата обращения: 26.01.2025).

114. ФГБУ «ВНИИ труда» Минтруда России : сайт. – URL: https://vcot.info/uploads/landings_files/66d99c1a16c0e568797996.pdf (дата обращения: 26.01.2025).

115. ГОСТ 12.0.230.3-2016. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Оценка результативности и эффективности : дата введения 2018-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 36 с.

116. Федеральная служба по труду и занятости РОСТРУД : сайт. – URL: https://git78.rostrud.gov.ru/osnov/operativnye_dannye/2024_god/ (дата обращения: 04.03.2025)

117. Отчет об устойчивом развитии'22 // ГК "Эталон" : сайт. – URL: https://www.etalongroup.com/fileadmin/user_upload/pdf/annual-reports/Sustainability_Report_for_the_year_ended_31_december_2022_RUS.pdf (дата обращения: 10.04.2025)

118. Что такое коэффициент возврата инвестиций (ROI) и как им пользоваться // Яндекс : сайт. – URL: <https://yandex.ru/adv/edu/materials/koeffitsiyent-vozvrata-investitsiy-roi?ysclid=m5r9upkqu4162299485> (дата обращения: 26.01.2025).

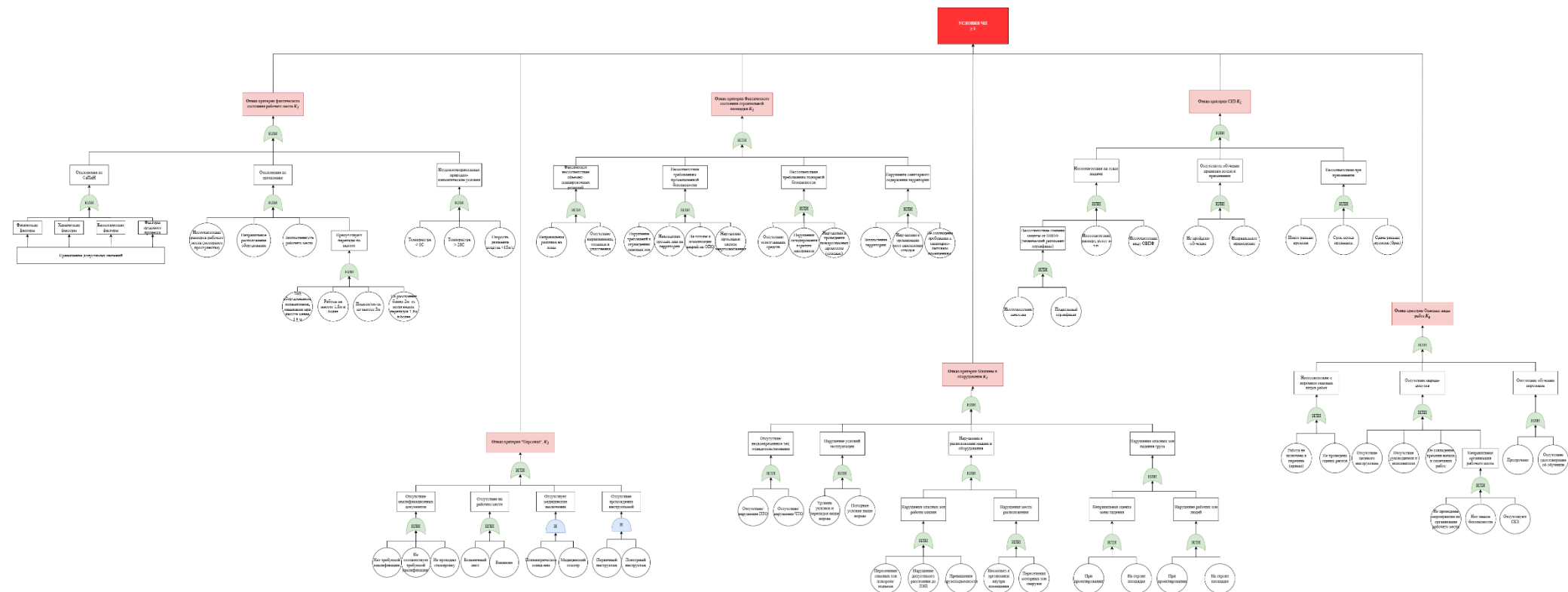
119. Горбунова, О. В. Оценка экономической эффективности применения инновационных цифровых решений в системе управления безопасностью труда в строительной отрасли / О. В. Горбунова, Г. Е. Нам, П. И. Падерно // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 14, № 3(71). – С. 203-212. – EDN AYWSFW.

120. Что такое ставка дисконтирования // Т—Ж : сайт. – URL: <https://journal.tinkoff.ru/guide/discount-rate> (дата обращения: 26.01.2025).

121. Приказ Минтруд РФ от 11.07.2024 года № 347н Об утверждении Правил финансового обеспечения предупредительных мер по сокращению производственного травматизма и профессиональных заболеваний работников и санаторно-курортного лечения работников, занятых на работах с вредными и

- (или) опасными производственными факторами. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1310208008> (дата обращения: 01.05.2025)
122. Группа "Эталон" : сайт. – URL: <https://etalongroup.ru/spb/object/pulkovskiy-dom> (дата обращения: 26.01.2025).
123. Видеоаналитика и компьютерное зрение для промышленности : сайт. – URL: <https://vizorlabs.ru/> (дата обращения: 23.03.2025).
124. Торговый дом ООО "ТД Редут СБ" : сайт. – URL: <https://redutsb.ru/product/tplink-vigi-c340s4mm/?ysclid=m5tzfvgzrp519149638> (дата обращения: 26.01.2025).
125. VIGI by TP-Link : сайт. – URL: <https://www.tp-link.com/ru/business-networking/vigi-network-camera/vigi-c340s/v1-4mm-lens/#specifications> (дата обращения: 26.01.2025).
126. Приказ Минтруда России "Об утверждении Единых типовых норм выдачи средств индивидуальной защиты и смывающих средств" от 29.10.2021 № 767н // Официальный интернет-портал правовой информации. – 2021.
127. ТР ТС 019/2011 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности средств индивидуальной защиты" от 09.12.2011 // Официальный сайт Комиссии таможенного. – 2011.
128. ФГБОУ ВО "СПбГАСУ" : сайт. – URL: https://www.spbgasu.ru/university/innovatsionnye-obrazovatelnye-proekty/sovremennye-obrazovatelnye-tehnologii-dlya-obespecheniya-bezopasnosti-truda-v-stroitelnoy-otrasli/?clear_cache=Y (дата обращения: 26.01.2025).

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Дерево отказов критериев оценки уровня безопасности труда



ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Акты внедрения

ГРУППА
ЭТАЛОН

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НОВАТОР»

Богатырский проспект, д.2, литер А, Санкт-Петербург,
197348
+7 (812) 348-27-56, e-mail: ao_novator@etalongroup.com
ОГРН 1027807570383 ИНН 7814118396 КПП 781401001
www.etalongroup.ru

26.06.2024 № 25185-Д

На № _____ от _____

АКТ

о реализации научных результатов

Данным актом подтверждается участие старшего преподавателя ФГБОУ ВО Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ) Нам Галины Евгеньевны во внедрении разработанной математической модели в действующий алгоритм системы контроля безопасности труда на строительных площадках АО «Новатор» (входит в Группу Компаний «Эталон»). На основе предложенной математической модели усовершенствована система контроля безопасности труда за счет применения выделенных элементов цифрового двойника объекта строительства для информационной поддержки принятия решений.

В ходе внедрения и апробации математической модели и алгоритма в АО «Новатор»:

- разработан раздел внутреннего нормативного документа, регламентирующего работу с применением цифрового двойника объекта строительства для организации системы контроля безопасности труда;
- разработан внутренний регламент создания элементов цифрового двойника необходимых для контроля и обеспечения безопасности труда в системе информационной поддержки принятия решений для работы в условиях строительной площадки с учетом динамики производства работ.

В ходе внедрения новых информационных технологий руководство АО «Новатор» подтверждает, что использование разработанной математической модели и методики применения элементов цифрового двойника дало возможность усовершенствовать действующую систему контроля безопасности труда в строительстве, позволило достичь положительных результатов при реализации инвестиционно-строительных проектов.

Заместитель генерального директора





МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»
(СПбГАСУ)

ул. 2-я Красноармейская, д. 4, Санкт-Петербург, 190005

№ _____

[об акте внедрения в учебный процесс]



Проректор по образовательной
деятельности

 С. В. Михайлов
2025 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

результатов диссертационной работы Нам Г.Е.
на соискание учёной степени кандидата наук по специальности
2.10.3 – Безопасность труда

Тема диссертационного исследования «Разработка системы контроля безопасности труда на строительной площадке с применением технологии информационного моделирования» соответствует п.2 раздела III «Концепции подготовки кадров до 2035 года», целям и задачам «Стратегии развития строительной отрасли до 2030 года» и программе развития ФГБОУ ВО «СПбГАСУ» на 2023-2032 годы.

Предложенная методика функционирования системы контроля безопасности труда позволяет внедрить критерии оценки уровня безопасности в учебный процесс для определения «соответствует/не соответствует» выполнение работ нормативным требованиям и оперативно получать данные о нарушениях, в том числе моделируемых, для определения фактического уровня безопасности с помощью технологий информационного моделирования в рамках практических занятий на базе ИУК «Полигоне «Умный труд» (Учебная база СПбГАСУ).

Результаты исследований Нам Г.Е. прошли апробацию в учебном процессе и отражены рабочих программах дисциплин по направлению подготовки 20.03.01 и 20.04.01 «Техносферная безопасность»: «Организация охраны труда в строительной отрасли», «Надзор и контроль в сфере охраны труда», «Информационное моделирование в строительстве (ТИМ)», «Моделирование процессов и объектов для решения специальных задач»,

«ВМ-технологии в строительном производстве», а также «Эксплуатационная практика», «Технологическая практика» и получили положительную оценку.

Представленные автором результаты исследований рассмотрены на заседании кафедры техносферной безопасности № 5 от 27.12.2024 и на Учебно-методической комиссии строительного факультета № 6 от 16.01.2025.

Материалы диссертационного исследования апробированы в рамках инновационного образовательного проекта ФГБОУ ВО «СПбГАСУ» «Современные образовательные технологии для обеспечения безопасности труда в строительной отрасли (2022-2026)» как федеральной инновационной площадки Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Декан строительного факультета,
заведующий кафедрой
техносферной безопасности,
доцент, к.т.н.



А. Н. Никулин

Исп.: Старовойтова Н.Ю.
Тел. +7 (812) 316-15-81
E-mail: tsb@spbgasu.ru: