

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

На правах рукописи

Красноухова Дарья Юрьевна



РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА
ТРАВМИРОВАНИЯ РАБОТНИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ НА ОСНОВЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

Специальность 2.10.3. Безопасность труда

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Коршунов Г.И.

Санкт-Петербург – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УРОВЕНЬ ТРАВМАТИЗМА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ УГЛЯ.....	11
1.1 Воздействие вредных и опасных факторов на персонал угольной отрасли в системе «человек – техническая система – производственная среда»	11
1.2 Статистика травматизма в угольной отрасли	18
1.3 Причины воздействия травмирующих факторов на персонал угольных шахт	25
1.4 Воздействие человеческого фактора при травмировании работников угольных шахт.....	33
1.5 Выводы к главе 1	38
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА	40
2.1 Понятие «человеческий фактор» и определение области его применения.....	40
2.2 Современные проблемы оценки человеческого фактора при анализе рисков травмирования персонала.....	50
2.3 Существующие методики оценки негативного воздействия человеческого фактора	57
2.4 Оценка реализации событий при развитии травмоопасных ситуаций.....	63
2.5 Выводы к главе 2	72
ГЛАВА 3 МЕТОД ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ТРАВМИРОВАНИЯ РАБОТНИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ С УЧЁТОМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА	74
3.1 Логико-графическая модель механизмов влияния ошибочных действий персонала на реализацию горно-технологических, технических и организационных причин травматизма	74
3.2 Методологический подход к оценке причин ошибочных действий	82
3.3 Корреляционно-регрессионный анализ влияния частоты ошибочных действий на профессиональный риск травмирования горнорабочих	95
3.4 Определение значимости показателей человеческого фактора с применением	

множественной регрессии	101
3.5 Алгоритм применения метода оценки профессионального риска, основанного на учете ошибочных действий персонала	105
3.6 Выводы к главе 3	107
ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА АДРЕСНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ РИСКА ТРАВМИРОВАНИЯ РАБОТНИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ, УЧИТЫВАЮЩИХ ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБОЧНЫХ ДЕЙСТВИЙ ПЕРСОНАЛА.....	109
4.1 Обоснование мероприятий по предупреждению ошибочных действий персонала угольных шахт.....	109
4.2 Аprobация метода оценки профессионального риска, основанного на учете ошибочных действий персонала.....	118
4.3 Рекомендации по внедрению и управлению человеческим фактором на угольных шахтах.....	125
4.4 Оценка экономической и технологической эффективности использования предлагаемого метода	128
4.5 Выводы к главе 4	133
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	135
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА	137
Список графического материала.....	137
Список табличного материала	139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	142
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт об использовании результатов кандидатской диссертации в деятельности ООО «Сибкор»	169
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Свидетельство о государственной регистрации базы данных	170
ПРИЛОЖЕНИЕ В ГОСТ Р 50779.42-99 Коэффициенты для вычисления контрольных карт.....	171

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

По данным Федеральной службы государственной статистики, подземная добыча угля является одной из наиболее опасных отраслей, где показатели частоты травматизма ($K_{\text{ч}} = 5,8 \text{ год}^{-1}$) превышают аналогичные значения для открытых горных работ более чем в два раза ($K_{\text{ч}} = 2,5 \text{ год}^{-1}$) за 2024 год.

Согласно Программе развития угольной промышленности России до 2035 года, прогнозные показатели травматизма при подземной добыче угля в 2019-2025 гг. составляют 0,02 чел/млн тонн, в то время как фактические значения за указанный период превышают прогноз более чем в 5 раз.

В ежегодных отчетах Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору среди основных причин реализации опасных событий при смертельном травмировании работников угольных шахт за последние 10 лет наибольшую долю (более 70-90%) занимает воздействие человеческого фактора.

Недостаточность оценки человеческого фактора в системах управления охраной труда становится главной проблемой на передовых угледобывающих предприятиях при обеспечении мер по недопущению травматизма. Традиционные методы часто фокусируются на формальных процедурах и индивидуальных ошибках, игнорируя системные причины и адаптацию к реальным условиям труда. Это приводит к тому, что мероприятия не учитывают вероятность и значимость ошибок персонала, что может вызвать травмоопасные ситуации. Поведенческий аудит также не решает эту задачу в необходимой мере. Эффект наблюдателя искажает поведение работников, а упрощенный подход и бинарная оценка действий снижают его эффективность.

Сложное по своей сути взаимодействие персонала с техникой и производственной средой, как правило, не учитывается при оценке рисков. Это, в свою очередь, приводит к незамеченным ошибкам и травмам. Искусственный интеллект, все чаще используемый для мониторинга безопасности, фиксирует нарушения на основе заложенного в него алгоритма, но не распознает их контекст

и не оценивает когнитивные факторы, такие как усталость и стресс, что не позволяет понять причину опасных действий.

В этой связи для эффективного управления безопасностью необходимо интегрировать человеческий фактор в целостную модель управления предприятием посредством выявления причин реализации травмоопасных событий на угольных шахтах. Такой подход даст возможность проанализировать удельный вес влияния вероятности возникновения ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководства на причины развития травмоопасных событий и разрабатывать адресные мероприятия по предупреждению ошибок персонала.

Степень разработанности темы исследования

Проблема производственного травматизма на предприятиях угольной отрасли многие годы рассматривается в трудах отечественных и зарубежных исследователей. Число несчастных случаев, приводящих к травмам, было значительно снижено за счет совершенствования технологического процесса и организации труда. Однако с 2022 года наблюдается тенденция к увеличению травматизма, что обусловлено увеличением роли человеческого фактора, а именно влиянием опасных действий работников, являющихся составной частью почти всех причин травматизма: технических, горно-технологических и организационных.

Вопрос воздействия человеческого фактора на риск травмирования работников освещен в исследованиях Кравчука И.Л., Гендлера С.Г., Виноградовой О.В., Галкина А.В., Самарова Л.Ю., Ворошилова Я.С., Замигулова Е.А., Гришина В.Ю., Лисовского В.В., Гришиной А.М. и других авторов. Однако в работах этих ученых анализ человеческого фактора недостаточно учитывает структуру управления технологическим процессом и значимость ошибок на различных уровнях принятия решений.

Таким образом, разработка метода оценки профессионального риска, учитывающего влияние вероятности возникновения ошибочных действий на различных уровнях управления технологическим процессом, а также влияние

рассмотренных ошибок на горно-технологические, технические и организационные причины травм горнорабочих является актуальной задачей.

Объект исследования – производственный травматизм на угледобывающих предприятиях.

Предмет исследования – негативное влияние человеческого фактора на причины травмирования горнорабочих.

Цель работы – разработать метод оценки профессионального риска на основе комплексного влияния человеческого фактора для определения высокоэффективных адресных мер по снижению риска травмирования.

Идея работы – выбор адресных мероприятий по снижению риска травмирования работников угольных шахт необходимо осуществлять на основе метода оценки причин влияния человеческого фактора в комплексе горно-технологических, технических и организационных причин для конкретных категорий работников.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения следующих задач:

1. Исследовать природу возникновения ошибочных действий среди групп персонала различного уровня управления технологическим процессом и их влияние на реализацию горно-технологических, технических и организационных причин травмирования работников.

2. Обосновать механизм воздействия ошибок среди групп персонала различного уровня управления технологическим процессом на профессиональный риск травмирования работников.

3. Разработать метод оценки профессионального риска, учитывающий влияние вероятности возникновения ошибочных действий для группы работников, наиболее склонных к нарушениям.

4. Разработать адресные мероприятия по предупреждению реализации причин возникновения ошибочных действий наиболее значимых групп работников.

Научная новизна работы:

1. Выявлена корреляционная связь между профессиональным риском травмирования подземного персонала угольных шахт при реализации горно-технологических, технических и организационных причин и вероятностью возникновения ошибочных действий работников.

2. Установлена корреляционно-регрессионная зависимость между профессиональным риском травмирования работников и вероятностью ошибочных действий при управлении технологическим процессом горнорабочими, инженерно-техническими работниками и руководством.

Соответствие паспорту специальности

Полученные научные результаты соответствуют паспорту научной специальности 2.10.3 Безопасность труда по пунктам: 4. и 8.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Доказана необходимость учета вероятности ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководителей при оценке горно-технологических, технических и организационных причин травмирования работников;

2. Разработан метод оценки профессионального риска травмирования персонала угольных шахт, учитывающий влияние вероятности возникновения ошибочных действий на различных уровнях управления технологическим процессом.

3. Обосновано применение адресных мероприятий по предупреждению реализации травмоопасных ситуаций с учетом комплексной оценки человеческого фактора.

4. Результаты диссертационной работы приняты к использованию в производственной деятельности ООО «Сибкор» для повышения эффективности функционирования системы управления охраной труда при добыче угля подземным способом (акт об использовании результатов от 25.07.2025 г. – Приложение А).

5. Результаты диссертационной работы подтверждены свидетельством о государственной регистрации базы данных БД № 2025621231 «База данных мониторинга сниженной работоспособности и результативности профессиональной деятельности» от 18.03.2025.

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач использован комплексный метод, включающий:

1. Обзор методов анализа и оценки воздействия человеческого фактора на травматизм персонала угольных шахт.
2. Классификацию человеческого фактора по группам персонала и причинам реализации негативного воздействия.
3. Логико-графический анализ и структуризацию причин воздействия человеческого фактора.
4. Статистический анализ данных по производственному травматизму на угольных шахтах.
5. Анкетирование персонала по корректурной пробе и дифференцированной оценке работоспособности и стресса.
6. Использование компьютерных программ статистической обработки данных.

Положения, выносимые на защиту:

1. Оценку профессионального риска травмирования работников угольных шахт следует проводить с учетом влияния ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководства на вероятность возникновения организационных, технических и горно-технологических причин травмирования работников угольных шахт.
2. Метод оценки профессионального риска должен учитывать регрессионную модель, определяющую зависимость профессионального риска травмирования персонала от вероятности реализации ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководства.

3. Выбор адресных мероприятий по снижению профессионального риска травмирования горнорабочих должен осуществляться на основе ранжирования причин ошибочных действий с учетом коэффициента безопасного ведения работ.

Степень достоверности результатов исследования подтверждается анализом значительного объема использованных материалов: государственной статистической отчетности по травматизму по отдельным отраслям экономической деятельности, статистических данных по травматизму и условиям труда на угольных шахтах, применением методов корреляционного и регрессионного анализа, использованием современных программных продуктов, высокими коэффициентами корреляции между изучаемыми факторами, соответствием полученных результатов данным других исследователей.

Апробация результатов диссертации проведена на 10 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 6 международных. За последние 3 года принято участие в 5 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 3 международных: IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Безопасность в строительстве» (ноябрь 2019 года, г. Санкт-Петербург); Международная научно-практическая конференция «Концепции устойчивого развития науки в современных условиях» (май 2019 года, г. Самара); XVIII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (апрель 2020 года, г. Санкт-Петербург); XVI International forum-contest of students and young researchers. Under the auspices of UNESCO «Topical issues of rational use of natural resources» (июнь 2020 года, г. Санкт-Петербург); XVIII Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (май 2022 года, г. Санкт-Петербург); Всероссийская научная конференция (с международным участием) «Промышленная безопасность и охрана труда» (декабрь 2023 года, г. Санкт-Петербург); XX Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (декабрь 2024 года, г. Санкт-Петербург); Международный научный симпозиум «Неделя горняка-2024» (февраль 2024 года, г. Москва); V Международная научно-практическая конференция «Научные исследования: проблемы и перспективы в условиях формирования

многополярного мира» (апрель 2025 года, г. Анапа); XI Международная научно-практическая конференция «Инновационные перспективы Донбасса» (май 2025 года, г. Донецк).

Личный вклад автора заключается в постановке проблемы воздействия человеческого фактора на безопасность в угольной промышленности; определении цели и задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследования; анализе нормативно-методической базы в области оценки профессиональных рисков на угольных шахтах; обработке и обобщении материалов по расследованию причин травмирования работников угольных шахт за последние 15 лет; анализе профессионального риска травмирования персонала угольных шахт при воздействии человеческого фактора; проведении анкетирования, направленного на оценку склонности персонала к риску, обработке полученных данных и подготовке базы данных; разработке метода учета влияния ошибочных действий персонала на безопасность ведения работ и обосновании на его основе мероприятий для снижения травматизма.

Публикации. Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 12 печатных работах (пункты списка литературы № 62-64, 68-69, 74-75, 86-88, 135-136), в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных (Приложение Б, пункт списка литературы №102).

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка иллюстративного материала, списка литературы, включающего 158 наименований и 3 приложения. Диссертация изложена на 171 странице машинописного текста, содержит 32 рисунка и 31 таблицу.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УРОВЕНЬ ТРАВМАТИЗМА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ УГЛЯ

1.1 Воздействие вредных и опасных факторов на персонал угольной отрасли в системе «человек – техническая система – производственная среда»

Горнодобывающая промышленность Российской Федерации демонстрирует высокие показатели в области извлечения стратегически значимых полезных ископаемых, располагая при этом широким спектром добываемых ресурсов. Учитывая обширную географию страны и значительные различия в горно-геологических и климатических условиях с применением сложных технологических систем, процесс добычи и переработки полезных ископаемых сопряжен с рядом значительных рисков. Среди добывающих компаний в различных видах экономической деятельности угледобывающие предприятия являются одной из наиболее травмоопасных отраслей. Анализ статистических данных свидетельствует о высоком уровне производственного травматизма и большого числа смертельных случаев среди работников данной сферы.

Таким образом, для минимизации рисков и обеспечения безопасности труда на угледобывающих предприятиях необходимо не только идентифицировать травмирующие факторы, но и осуществлять комплексный анализ причин несчастных случаев, направленный на выявление системных нарушений в области охраны труда.

Анализ безопасности угледобычи включает оценку ключевых компонентов системы «человек – техническая система – производственная среда», которые оказывают значительное влияние на обеспечение безопасности и эффективности данного процесса.

1) *Производственная среда* характеризуется сложными горно-геологическими, природными и климатическими условиями ведения работ, воздействием большого числа вредных производственных факторов.

Анализ данных о горно-геологических характеристиках и природных условиях позволил идентифицировать ключевые риски, связанные с эксплуатацией угольных шахт.

Одним из основных факторов риска является возможность возникновения взрывов угольной пыли и метана вследствие недостаточного контроля за составом атмосферы в подземных выработках. Горные удары представляют собой значительную угрозу для безопасности шахтерского труда. Внезапные выбросы угля, породы и газа могут быть спровоцированы высоким давлением в угольных пластах и нарушениями установленных правил безопасности.

Самовозгорание угля, возникающее при нарушениях в проектировании и эксплуатации систем вентиляции, может привести к возникновению пожаров, представляющих серьезную опасность для работников и инфраструктуры шахты. Прорывы воды и пульпы могут быть вызваны ошибками в геологической разведке и разрушением старых выработок, что требует принятия дополнительных мер по обеспечению безопасности подземных сооружений.

В процессе добычи угля работники подвергаются воздействию неблагоприятных факторов производственной среды, таких как шум, вибрация, запылённость, загазованность и другие [64]. Эти факторы могут оказывать негативное влияние на здоровье работников и требуют применения соответствующих мер защиты, контроля и профилактики [128]. В угольной промышленности 78,9% работников подвергаются воздействию вредных производственных факторов, 58,6% из которых работают в тяжелых условиях.

Несмотря на сокращение нормы часов в смене (смены по 6 часов), скорость восстановления работников после тяжелого труда во время регламентированных перерывов и отдыха не обеспечивает восстановление организма [87]. Таким образом увеличивается риск совершения ошибочных действий, что также приводит к травмам [69, 70, 108].

2) *Техническая система* в угольной отрасли характеризуется применением сложных многоступенчатых систем, что является критически важным аспектом при взаимодействии с человеком. В процессе добычи угля используются разнообразные виды оборудования, машин и механизмов, которые должны соответствовать строгим стандартам промышленной безопасности. Необходимо учитывать особенности взаимодействия с движущимися и выступающими

элементами оборудования, перепады высот, обусловленные его конструктивными особенностями, а также другие технические аспекты, которые могут представлять потенциальную угрозу для жизни и здоровья работников [119].

3) *Человек*, как источник опасностей в контексте анализа систем безопасности, будучи ключевым элементом, представляет собой значимый источник потенциальных рисков, обусловленных как психофизиологическими, так и поведенческими факторами. Длительное воздействие профессиональных стрессоров, таких как монотонная работа, приводит к истощению когнитивных ресурсов, что выражается в снижении концентрации внимания и, как следствие, увеличивает вероятность ошибок при управлении технологическим оборудованием и число нарушений требований безопасности.

Недостаточная квалификация персонала, особенно в условиях постоянной смены кадров, усугубляет проблему, способствуя неправильной эксплуатации оборудования. Например, некорректное использование систем мониторинга метана может привести к накоплению взрывоопасного газа, создавая тем самым угрозу аварийных ситуаций [95].

Психологический стресс, возникающий в результате воздействия неблагоприятных факторов рабочей среды, таких как повышенный уровень шума, ограниченное пространство и высокая ответственность, оказывает негативное влияние на когнитивные функции человека. Это, в свою очередь, увеличивает вероятность принятия неоптимальных решений в критических ситуациях, что может иметь катастрофические последствия для безопасности производства [71, 72, 121, 140].

Таким образом, человек как субъект системы представляет собой сложный и многогранный источник рисков, требующих комплексного подхода к управлению и минимизации. Понимание и учет психофизиологических и поведенческих факторов, влияющих на безопасность, является ключевым аспектом в разработке эффективных стратегий предотвращения аварий и инцидентов.

В системе «человек – техническая система – производственная среда» распределение групп опасностей, приводящих к травмированию работников, представлено на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Диаграмма Исикавы распределения факторов, влияющих на травматизм работников (составлено автором)

Согласно рисунку 1.1, травмирующие факторы классифицируются по источникам потенциальной опасности. В таблице 1.1 представлено распределение классов и подклассов травмирующих факторов, что позволяет структурировать данные для более глубокого изучения.

Таблица 1.1 – Классы опасных факторов, приводящих к травме (составлено автором)

Класс	Подкласс
1. Горно-геологические и природные опасности	
Выбросы, обрушения, обвалы	Выбросы, выдавливание пород под давлением
	Обрушение пород, земли при увеличении горного давления
	Выбросы вредных и опасных газов

Продолжение таблицы 1.1.

Класс	Подкласс
Прорывы и затопления	Прорывы воды
	Прорывы пульпы
	Затопление выработок
Горение, взрывы, воздействие дыма	Эндогенные и экзогенные пожары
	Взрывы метана и пылевоздушной смеси
Горные удары	Вывалы пород при горном ударе
	Воздействие воздушных и сейсмических волн
	Микроудары, толчки, стреляние горных пород
2. Опасности среды	
Воздействие вредных веществ	Подразделяются в зависимости от пути попадания в организм и характера действия
Воздействие электрического тока	Подразделяются по видам источников
Воздействие излучений	Воздействие ионизирующих излучений
	Воздействие неионизирующих излучений
3. Технологические и технические опасности	
Падение, обвалы предметов, конструкций, материалов	Падение деталей машин и оборудования в результате разрушения или нарушения целостности устройств
	Падение инструмента и подручных материалов в результате применения не по назначению
	Разрушение конструкций крепей в результате нарушения применяемых технологий, допустимых расстояний и т.д.
Воздействие движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов	Удары разлетающимися частями оборудования или деталями
	Защемления движущимися машинами и предметами
	Затягивание и наматывание при взаимодействии с оборудованием
	Защемления движущимися и неподвижными частями оборудования при перемещении по выработкам
Падение пострадавшего	Падение пострадавшего при перепаде высот
	Падение пострадавшего на глубину
	Падение пострадавшего при спотыкании, проскальзывании или ложном шаге

Продолжение таблицы 1.1.

Класс	Подкласс
4. Воздействие человека	
Ухудшение психофизиологического состояния работника	Физические перегрузки и перенапряжения в результате подъема, толкания, переноса предметов
	Утомление и стресс, невозможность восстановиться в течение регламентированных перерывов и отдыха
	Нервно-психологические нагрузки, приводящие к травмам
Повреждения в результате действий других лиц направленных на обеспечение работ	Несвоевременная наладка оборудования, отклонение от технологического процесса
	Недостаточное обеспечение работников, в том числе средствами защиты, необходимым инструментом
	Низкий уровень знаний работников, несвоевременное или недостаточное обучение
Повреждения в результате некомпетентного руководства и некорректного принятия решений	Привлечение к выполнению работ некомпетентных сотрудников
	Выполнения задач без необходимых средств обеспечения
	Выполнение задач без контроля безопасности работ

Отдельно необходимо провести детальный анализ воздействия таких потенциальных опасностей, как изменение глубины ведения горных работ, интенсификация процесса добычи и природная метаноносность угольных пластов. Эти факторы, хотя и не являются непосредственными причинами травм, формируют условия, которые способствуют возникновению и интенсификации травмоопасных событий [66].

С увеличением глубины залегания горных пород более 500 метров наблюдается значительное повышение горного давления, что приводит к аккумуляции механических напряжений в массиве. В результате этого процесса возникают горные удары, представляющие собой внезапные разрушения породного массива, сопровождающиеся выбросами угольной массы, газа и сейсмическими колебаниями. Например, в шахтах Карагандинского угольного

бассейна выбросы метана и угольной пыли начинают происходить уже на глубинах 300-700 метров вследствие высокой газоносности угольных пластов и низкой проницаемости угольного массива [8]. На глубинах свыше 1000 метров риск возникновения горных ударов значительно возрастает из-за критического сочетания высоких напряжений и повышенной хрупкости горных пород. В этих условиях требуется применение дополнительных мер по усиленному креплению горных выработок, что позволяет минимизировать вероятность катастрофических последствий.

Также с увеличением глубины залегания угольных пластов наблюдается рост газоносности, достигающий 25 м³/т угля, что приводит к интенсификации газодинамических процессов. В условиях низкой проницаемости угольного массива и наличия тектонических нарушений это способствует возникновению внезапных выбросов метана и угля, что, в свою очередь, может инициировать взрывоопасные ситуации. Одним из примеров является авария на шахте «Северная», где выброс метана повлек за собой повреждение кабельной инфраструктуры и последующий взрыв. Интенсивная разработка угольных пластов также способствует увеличению эмиссии метана из массива горных пород. Для предотвращения подобных аварий необходимо применять комплекс превентивных мер, включающий своевременную дегазацию с использованием скважин, гидравлический разрыв пласта и постоянный мониторинг состава атмосферы в шахтных выработках.

С углублением горных работ наблюдается закономерное повышение температуры пород, что обусловлено геотермическим градиентом, варьирующим в пределах 1°С на каждые 30-50 метров. Это явление негативно сказывается на микроклиматических параметрах подземных выработок. На глубине 1500 метров температура может достигать значений 45-50°С, что создает риск развития гипертермии у горнорабочих и требует принятия мер по терморегуляции.

Увеличение протяженности горных выработок и сопутствующее газовыделение существенно усложняют задачи вентиляции. Эти факторы требуют комплексного подхода к проектированию систем проветривания и мониторинга

геотермических условий для обеспечения безопасных и эффективных условий труда на значительной глубине.

В связи с увеличением глубины горных работ возникают технические и эксплуатационные сложности, влияющие на эффективность транспортировки добываемого угля. Основными факторами, ограничивающими производительность одноступенчатой системы подъема, являются рост транспортных издержек и необходимость организации промежуточных перегрузок, что снижает общую экономическую эффективность процесса добычи.

На значительных глубинах угольные пласты подвергаются интенсивному окислению, вызванному повышением температуры и трещиноватостью пород. Это явление существенно увеличивает риск самовозгорания угля, что, в свою очередь, приводит к возрастанию вероятности возникновения эндогенных пожаров. Сочетание интенсивного выделения метана, аномалий температуры и окислительных процессов в выработанном пространстве представляет серьезную угрозу, способную инициировать возгорание или взрыв.

Таким образом, увеличение глубины горных работ требует проведения детального анализа и разработки комплексных мер по обеспечению промышленной безопасности, направленных на снижение рисков, связанных с окислением угля, выделением метана и возможностью возникновения эндогенных пожаров.

1.2 Статистика травматизма в угольной отрасли

Согласно статистическим данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [48, 109], угольная промышленность является одной из наиболее опасных отраслей с точки зрения условий труда и рисков для здоровья работников (рисунок 1.2).

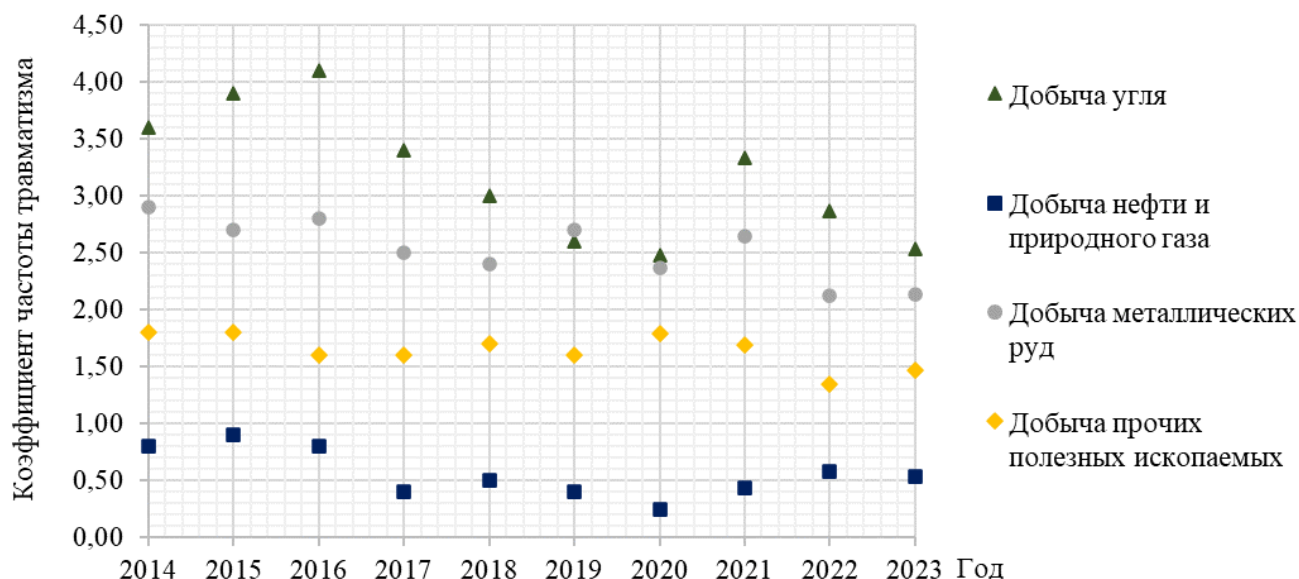


Рисунок 1.2 – Численность пострадавших при несчастных случаях в расчете на 1000 работающих с 2014 по 2023 года по видам добываемого полезного ископаемого [48]

Согласно рисунку 1.2, можно сделать вывод о том, что работники угольной промышленности подвергаются значительному риску травматизма. Важно отметить, что коэффициенты частоты травматизма при подземной добыче угля (5,8) значительно превышают аналогичные показатели для открытых горных работ (2,5). Это свидетельствует о более чем двукратном различии в уровне опасности между этими видами деятельности.

В таблице 1.2 представлены статистические данные о количестве пострадавших в результате НС, включая случаи со смертельным исходом, на угольных шахтах за последние десять лет.

Эти данные предоставляют возможность для проведения комплексного и детального анализа динамики травматизма в угольной промышленности, что позволяет выявить основополагающие тенденции, оказывающие значительное влияние на уровень безопасности труда в данной сфере.

Таблица 1.2 – Сведения о травматизме на шахтах за 2014-2024 года [48, 109]

Год	Число предприятий с установленными НС, ед.	Средняя численность работников, чел.	Численность пострадавших с утратой трудоспособности, чел.	Численность пострадавших при НС со смертельным исходом, чел.	Число рабочих человеко-дней нетрудоспособности у пострадавших при НС с утратой трудоспособности, чел.	Численность пострадавших, переведенных с основной работы на другую по медицинскому заключению, чел.
2014	117	174 683	621	38	51 696	33
2015	115	171 841	676	31	48 022	36
2016	112	155 804	633	53	44 229	45
2017	96	136 574	496	21	37 772	21
2018	85	140 185	437	21	30 360	21
2019	93	141 537	400	23	36 510	23
2020	74	136 039	368	24	26 571	23
2021	86	136 457	482	63	25 583	62
2022	100	145 528	448	13	26 504	13
2023	95	144 529	366	12	22 568	10
2024	165	145 150	206	15	15 522	4

В соответствии с годовым отчетом о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 2024 год в угольной промышленности отмечается тенденция к снижению показателей производственного травматизма со смертельным исходом [26, 80]. Однако, несмотря на положительную динамику, статистика и аналитические исследования подтверждают сохранение высокого уровня производственных травм в данной отрасли. На текущий момент угледобыча осуществляется на 89 шахтах, 88 из которых относятся к категории опасных производственных объектов I класса опасности.

Анализ распределения несчастных случаев при подземной добыче угля за различные годы в зависимости от объема добытого угля представлен в таблице 1.3 и на рисунке 1.3. Эти данные позволяют провести корреляционный анализ между объемом добычи угля и частотой производственных инцидентов, что является важным аспектом в оценке рисков и разработке мер по их снижению [71].

Таблица 1.3 – Статистические данные по добыче, аварийности и травматизму со смертельным исходом на угольных шахтах за 2004 – 2024 года [39]

Год	Объем добычи угля, млн т	Количество аварий	Количество смертельно травмированных, чел.	Удельный показатель смертельного травматизма, чел./млн т
2004	103,2	28	132	1,279
2005	108,5	15	81	0,747
2006	111,1	20	53	0,477
2007	111,5	18	216	1,937
2008	105,3	9	41	0,389
2009	108,4	8	36	0,332
2010	102,7	22	122	1,188
2011	101,0	13	33	0,327
2012	112,9	16	28	0,247
2013	101,0	11	57	0,554
2014	105,3	7	18	0,171
2015	103,7	6	11	0,106
2016	104,6	7	53	0,507
2017	104,5	3	12	0,115
2018	108,3	5	13	0,12
2019	107,5	0	11	0,102
2020	102,9	2	14	0,136
2021	113,0	3	64	0,566
2022	102,8	0	5	0,048
2023	98,0	0	9	0,091
2024	94,9	1	10	0,105

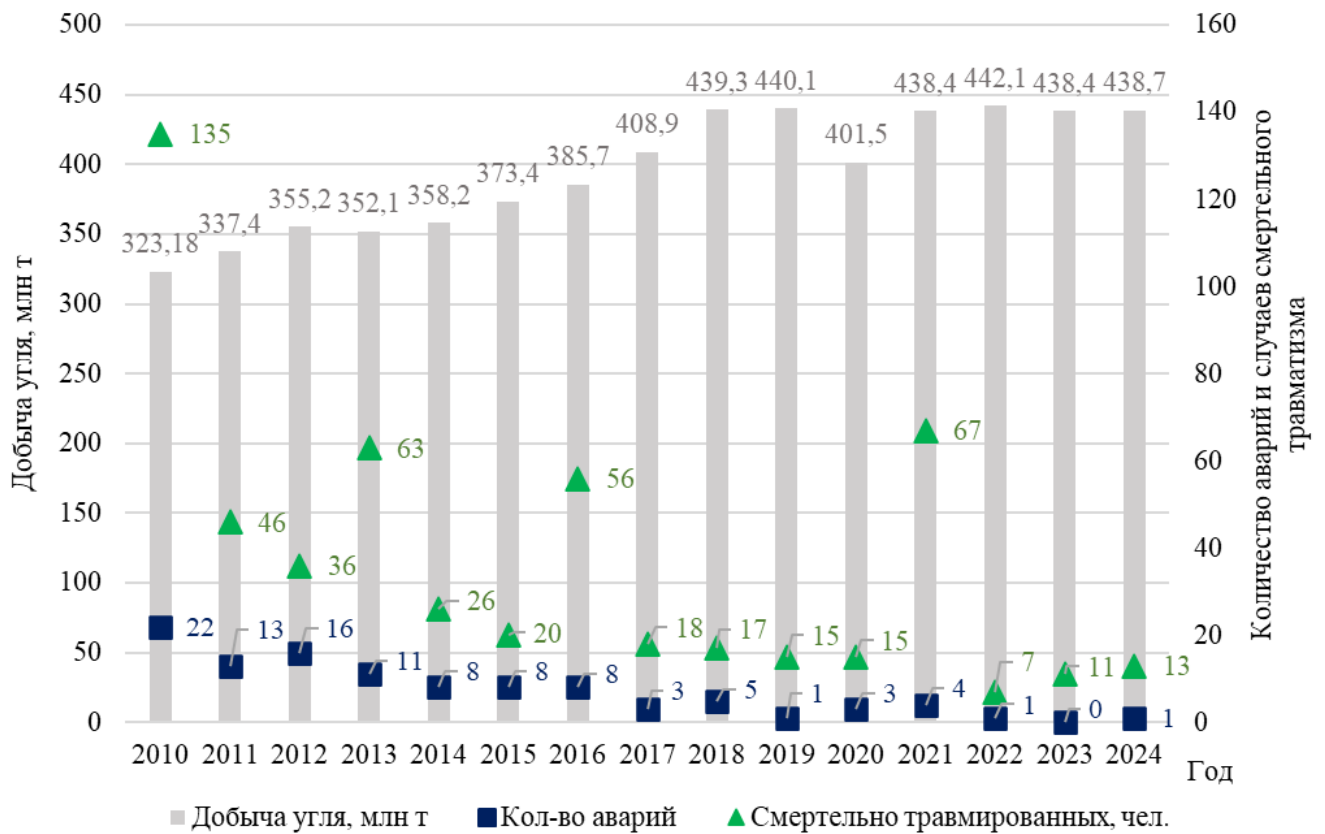


Рисунок 1.3 – Динамика добычи, аварийности и травматизма со смертельным исходом на угольных шахтах в 2004–2024 годах [39]

Таким образом, несмотря на снижение смертельного травматизма, вопрос обеспечения безопасных условий труда в угольной промышленности остается актуальным и требует комплексного подхода, включающего технические и организационные меры.

Анализ графиков демонстрирует, что за последние два десятилетия в угольной промышленности наблюдается устойчивая тенденция к снижению уровня смертельного травматизма [14, 25]. Однако, как отмечают И.В. Бухтияров, Н.Ф. Измеров и их коллеги, существует проблема недоучета несчастных случаев на производстве [11, 12]. Необходимо акцентировать внимание на том, что, несмотря на наблюдаемую тенденцию к снижению уровня производственного травматизма, имеет место значительное увеличение статистических показателей бытового травматизма. Данный феномен обуславливает несоответствие официальных данных о производственном травматизме, публикуемых в последние десятилетия, реальной ситуации, сложившейся на предприятиях России. Таким образом, необходимо учитывать как позитивные тенденции в области безопасности труда,

так и существующие методологические ограничения при интерпретации статистических показателей.

Для оценки изменений в количественных показателях производственных травм используется метод статистических контрольных карт Шухарта, который описан в стандарте ГОСТ Р 50779.42–99 (ИСО 8258-91) [32]. Этот метод представляет собой графическое отображение коэффициента частоты несчастных случаев (K_f) в зависимости от времени. Поскольку K_f является статистической величиной и отражает рассчитанное индивидуальное значение, использована методика построения Контрольных карт, для которых не задано стандартное значение.

Рассмотрена выборка значений K_f за 20 лет, для которых было определено:

- среднее значение \bar{K}_f по формуле 1.1:

$$\bar{K}_f = \frac{1}{n} \sum_{1}^n K_{f_n}, \quad (1.1)$$

где n – порядок рассматриваемого года (с 2004 по 2024);

- размах группы R по формуле 1.2 для последовательных пар значений:

$$R = K_{f_{max}} - K_{f_{min}}, \quad (1.2)$$

где $K_{f_{max}}$ – максимальное значение K_f ; $K_{f_{min}}$ – минимальное значение K_f .

1. Построение R-карты.

Среднее значение $\bar{R} = 0,0279$ Верхние и нижние значения определяются по формулам 1.3 и 1.4:

$$\text{- верхнее значение:} \quad ВЗР = \bar{R}D_4, \quad (1.3)$$

$$\text{- нижнее значение:} \quad НЗР = \bar{R}D_3, \quad (1.4)$$

где D_3, D_4 – табличные значения по ГОСТ Р 50779.42–99, таблица 2 (Приложение В).

Для каждого парного значения R в выборке $D_3 = 0$, $D_4 = 2,574$. Откуда $ВЗР = 0,076$, $НЗР = 0$. Полученная карта представлена на рисунке 1.4.

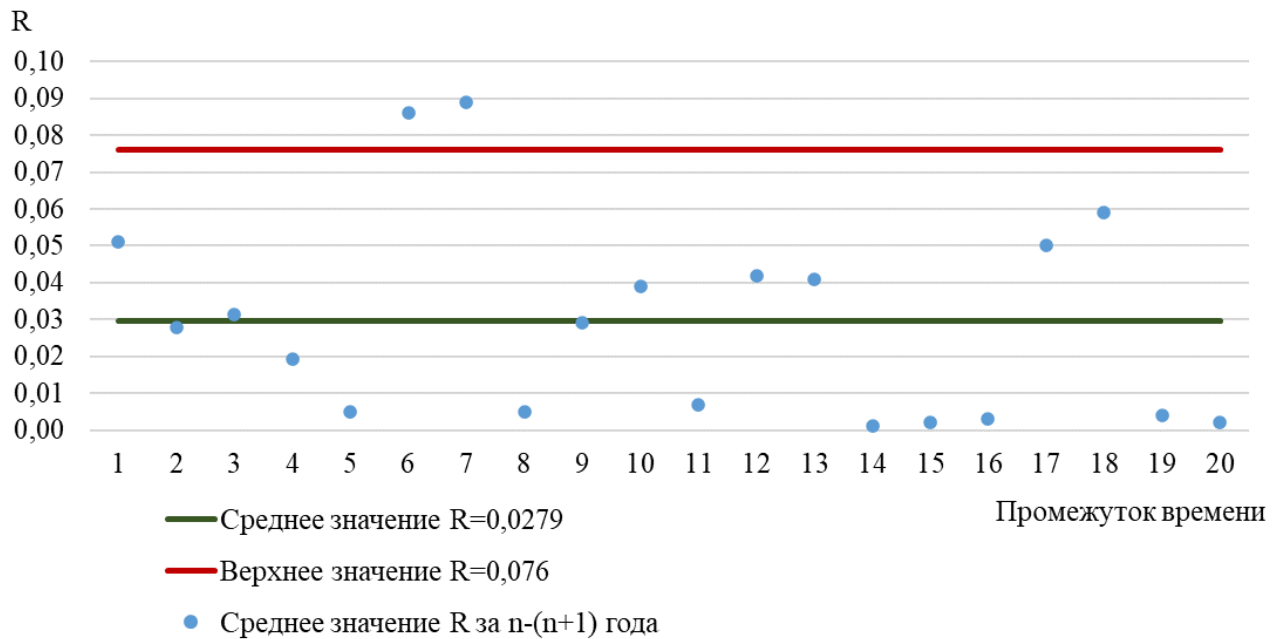


Рисунок 1.4 – Карта средних и размахов коэффициента частоты (составлено автором)

Согласно рисунку 1.4, размах частоты травматизма в точках 6 и 7 превышает верхний предел значений, что характеризуется большим числом пострадавших вследствие аварий на угольных шахтах, произошедших в 2010 году.

2. Построение \bar{X} -карты.

Среднее значение $\bar{K}_f = 0,039$. Верхнее и нижнее значение определяются по формулам 1.5 и 1.6 с использованием полученного среднего значения R:

$$\text{- верхнее значение: } \text{ВЗ}K_f = \bar{K}_f + E\bar{R}, \quad (1.5)$$

$$\text{- нижнее значение: } \text{НЗ}K_f = \bar{K}_f - E\bar{R}, \quad (1.6)$$

где E – косвенный коэффициент, определяемый как $3/d_2$, где d_2 – табличное значение по ГОСТ Р 50779.42–99, таблица 2 (Приложение В).

Для рассмотренной выборки данных $E = 3/1,128 = 2,659$. Следовательно, $\text{ВЗ}K_f = 0,12$, $\text{НЗ}K_f < 0$.

Значения коэффициента частоты травматизма и разброс значений, а также удельный показатель травматизма чел./млн т представлены на рисунке 1.5

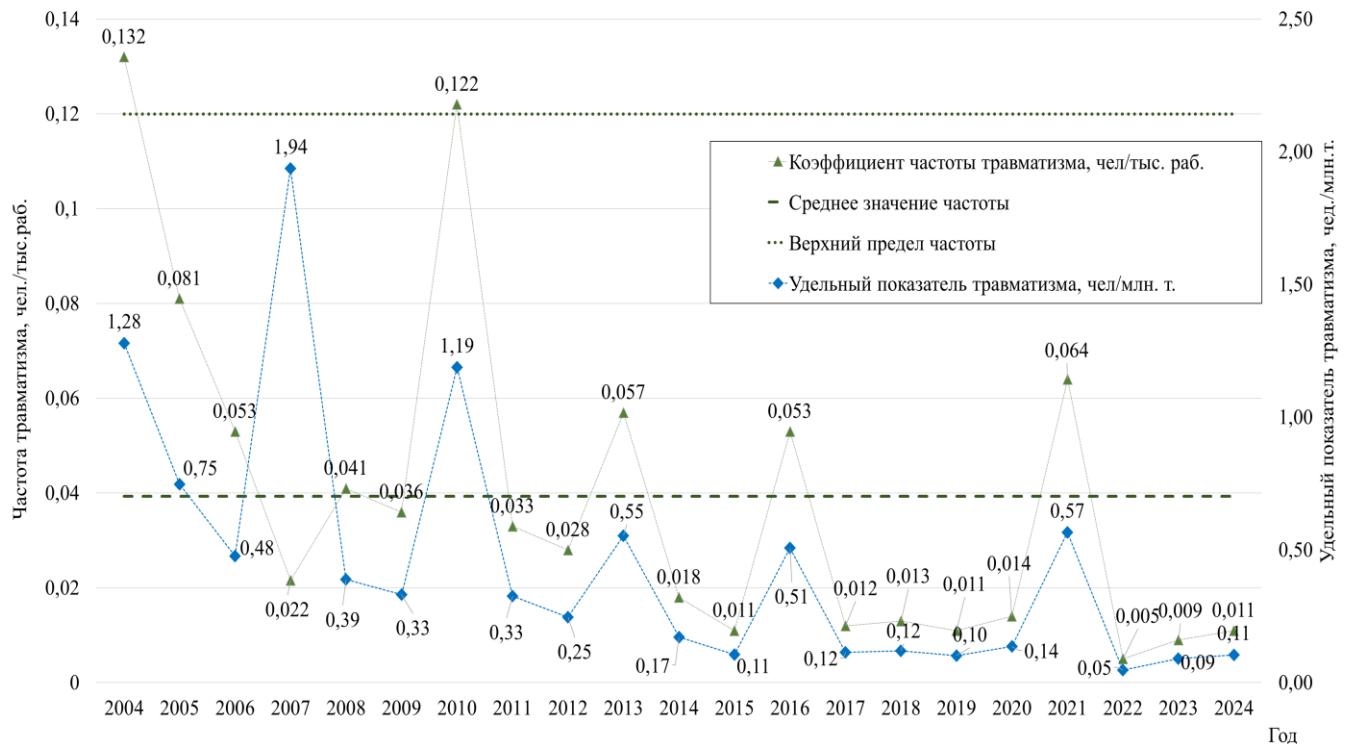


Рисунок 1.5 – Коэффициенты смертельного травматизма в угольной промышленности в 2004–2024 годах [48]

Согласно графику, представленному на рисунке 1.5, количество случаев травмирования работников снижается, однако коэффициент частоты несчастных случаев в некоторые годы превышает среднее значение, что свидетельствует о недостаточной эффективности системы управления охраной труда в организации.

1.3 Причины воздействия травмирующих факторов на персонал угольных шахт

В рамках настоящего исследования были проанализированы случаи происшествий на угольных шахтах Российской Федерации за период с 2010 по 2023 год. Данный временной интервал позволяет провести сравнительный анализ динамики травматизма и выявить тенденции, характеризующие состояние безопасности и охраны труда в отрасли [95, 99, 118]. Основная цель исследования заключается в идентификации причин, приводящих к возникновению опасных ситуаций, а также в выявлении типичных сценариев травматизма среди работников угольной промышленности. Особое внимание уделяется анализу факторов риска, влияющих на частоту и тяжесть производственных травм [150]. Для достижения этой цели необходимо не только определить количественные показатели

травматизма, но и провести качественный анализ причинно-следственных связей, что позволит разработать эффективные меры по снижению уровня профессиональных рисков.

Всего за анализируемый период произошло 585 несчастных случаев, 74 % из которых произошли при подземной добыче угля, 20 % – при открытой добыче, 6 % – на обогатительных фабриках. В среднем частота травматизма за 10 лет 55 случаев в год, с минимальным показателем в 2020 году – 38 случаев, и максимальным показателем в 2014 году – 77 случаев травматизма. Смертельные случаи среди рассмотренных составили 10 % [39].

Согласно анализируемым данным, среди травмированных представлены работники следующих профессий: электрослесарь/электромонтер, горнорабочий очистного забоя (ГРОЗ), проходчик, слесарь, машинист бульдозера/экскаватора, помощник машиниста бульдозера/экскаватора, подземные рабочие, машинисты и водители (ГРП, ГМП, МПУ), эл. слесарь подземный, инженерно-технический персонал (ИТР), машинист горно-выемочной машины (МГВМ), электрогазосварщик и прочие профессии. Распределение коэффициентов травматизма по профессиям представлено на рисунке 1.6.

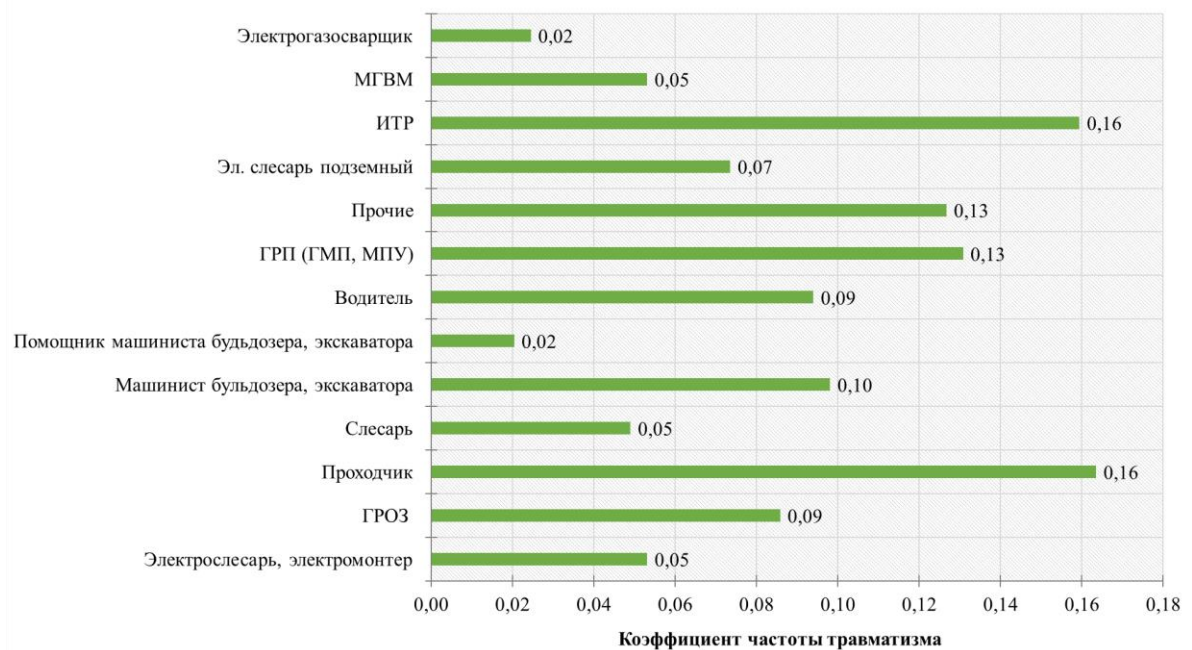


Рисунок 1.6 – Распределение коэффициента частоты травматизма по профессиям (составлено автором)

Так, наиболее часто травмируются работники при проходке выработок и инженерно-технические работники. При проходке выработок наиболее часто возникают травмоопасные ситуации при нарушении паспортов крепления выработок и увеличении протяженности незакрепленной части, где в результате происходит обрушение породы на персонал при установке крепи. В то же время травмы инженерно-технических работников чаще связаны с руководством работ без применения необходимого оборудования и инструментов, при использовании неисправного оборудования, а также при несоблюдении правил безопасности при ведении работ.

В контексте анализа профессиональных рисков особое внимание следует уделять статистическим данным, отражающим частоту аварий и производственных травм. Эти данные служат основой для объективной оценки уровня безопасности на рабочих местах и выявления критических факторов, способствующих возникновению опасных ситуаций. Частота травмирования в зависимости от вида фактора представлена в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Частота травм персонала по видам воздействующего фактора [39]

Вид воздействующего фактора	Доля травм, %
Падение на ровной поверхности одного уровня	1,0
Падение на скользкой поверхности	2,2
Падение на поверхности одного уровня	13,9
Падение при разности уровней высот и на глубину	17,0
Падение, обрушение, обвалы предметов, материалов и пр.	8,9
Обрушение и осыпь земляных масс, пород и др.	4,0
Обвалы конструкций, крепей механизмов и др.	0,3
Удары падающими предметами при работе с ними	7,8
Удары случайными падающими предметами	1,6
Воздействие движущихся, разлетающихся предметов	21,3
Контактные ушибы	6,4
Защемление между неподвижными и движущимися предметами	10,1
Защемление между движущимися предметами, машинами	1,0
Прочие травмы	1,4
Воздействие электрического тока	2,5
Воздействие дыма, огня и пламени	0,6

В целях анализа наиболее распространенных факторов травмирования работников построена Диаграмма Парето (рисунок 1.7), анализ которой позволяет определить, какие факторы встречаются чаще всего и насколько сильно они влияют на общую динамику, а также выделить ключевые причины событий или результатов и сосредоточиться на их устранении или улучшении.

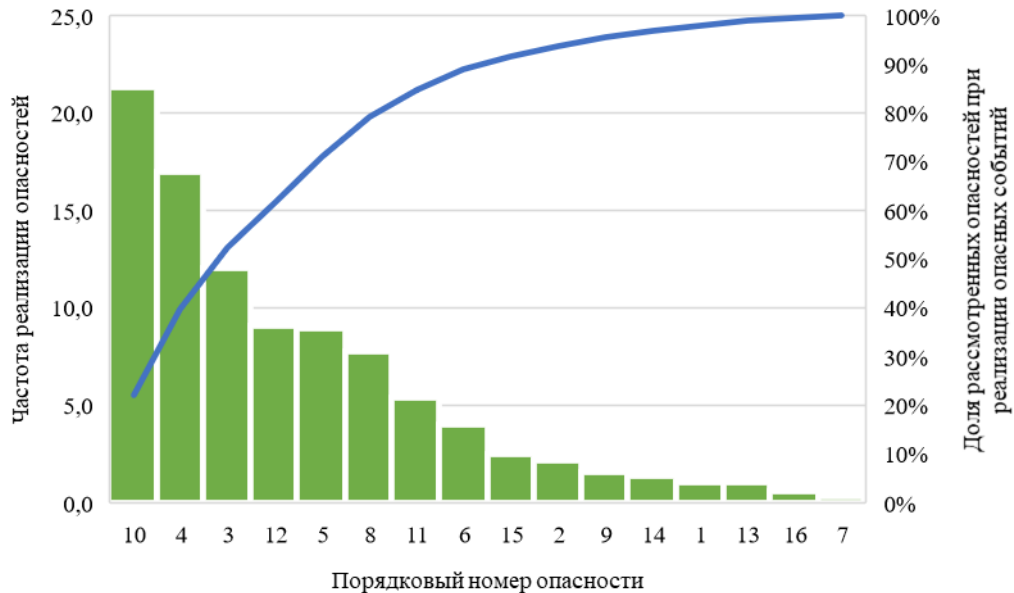


Рисунок 1.7 – Диаграмма Парето распределения причин травмирования работников (составлено автором)

На основании представленных на рисунке 1.7 данных можно сформулировать ряд выводов, касающихся факторов, способствующих травматизму в рабочей среде. В первую очередь, следует выделить наиболее опасные категории причин, приводящих к травмам более чем в 10% случаев. К ним относятся воздействие движущихся, разлетающихся и вращающихся частей оборудования (21,3%), падения при разности высот (17,0%), а также падения на поверхности одного уровня (12,0%). Эти данные свидетельствуют о высокой степени риска, связанного с работой механизмов, машин и оборудования, а также при выполнении работ вблизи подъемов, переходов, крупногабаритного оборудования и несоблюдении норм охраны труда.

Вторая группа факторов характеризуется средней степенью опасности, охватывая диапазон от 5% до 10% всех случаев травматизма. В эту категорию входят защемления между неподвижными и движущимися объектами (9,1%),

обрушения, падения и обвалы предметов, материалов и грунта (8,9%), удары падающими объектами, инструментами (7,8%), а также контактные ушибы в результате столкновений с движущимися элементами (5,4%). Эти виды травм часто встречаются в горной отрасли, в том числе при подземной добыче угля, которая характеризуется стесненными условиями и близким расположением конвейеров, механизированных комплексов, проходческого оборудования и машин к проходам и рабочим местам, что подчеркивает необходимость строгого соблюдения техники безопасности и организационных мер.

Третья группа факторов включает менее опасные причины травматизма, охватывающие диапазон от 1% до 5%. К ним относятся обрушения и осыпи земляных масс, вмещающих пород и полезного ископаемого (4,0%), воздействие электрического тока (2,5%), падения на скользких поверхностях (2,2%), удары случайными падающими предметами (1,6%), прочие контакты с предметами, деталями и машинами (1,4%), падения на ровной поверхности одного уровня (1,0%) и заземления между движущимися объектами (1,0%). Несмотря на относительно низкую частоту, эти инциденты также могут быть связаны с нарушениями техники безопасности или организационными недостатками, что требует пристального внимания и разработки соответствующих превентивных мер.

Наименее распространенные факторы травматизма, доля которых составляет менее 1%, включают обвалы крепей и конструкций (0,3%), а также воздействие дыма, огня и пламени (0,6%). Несмотря на низкую частоту этих инцидентов, их последствия могут быть катастрофическими, что обуславливает необходимость их детального анализа и разработки специфических мер по предотвращению.

За последние 10 лет работы предприятий угольной промышленности были зафиксированы случаи травмирования работников, которые распределены по 5 основным видам травмирующих факторов, а именно:

- Происшествия при передвижении и транспортировке;
- Падение пострадавшего;
- Падение, обрушение предметов и материалов;

- Воздействие движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов, деталей, машин и т.д.

Динамика количества травм в зависимости от группы травмирующего фактора представлена в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Динамика количества травм в зависимости от класса оказываемого воздействия (составлено автором)

Класс травмирующего фактора	Год								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Падение пострадавшего	18	17	18	12	11	7	20	17	20
Падение, обрушение, обвалы предметов, материалов, земли	19	11	7	8	5	4	12	8	7
Воздействие движущихся, разлетающихся предметов, т.д.	17	17	15	10	16	23	12	23	15

1) *Падения персонала* подразделяются в зависимости от уровня и вида поверхности. Распределение видов падений пострадавших представлено на рисунке 1.8.

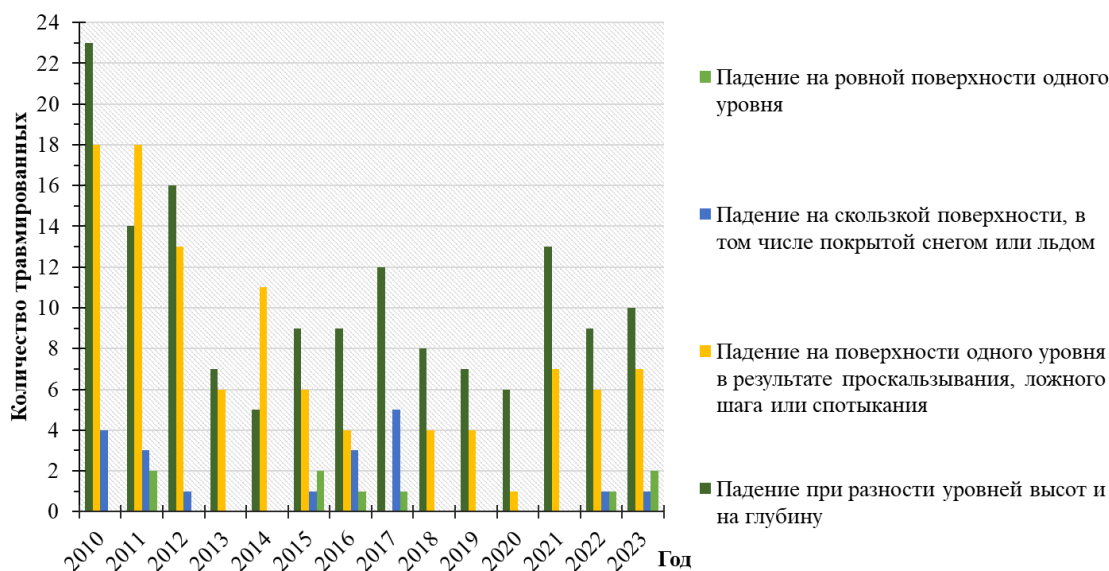


Рисунок 1.8 – Динамика травмирования персонала в результате падения за 2010-2023 года на угледобывающих предприятиях (составлено автором)

Несмотря на наблюдаемую позитивную динамику, падения по-прежнему остаются одной из основных причин травматизма. Согласно аналитическим

данным, падения на поверхности одного уровня при передвижении по выработкам, равно как и падения с высоты, включая лестницы, переходы, оборудование, транспортные средства и другие объекты, а также падения на глубину, такие как шахты, ямы и углубления, являются наиболее распространенными факторами, приводящими к травмам.

2) Падение, обрушение, обвалы предметов, материалов, земли и пр.

Динамика травмирования персонала в результате падения предметов материалов, пород, земли или инструментов представлена на рисунке 1.9.

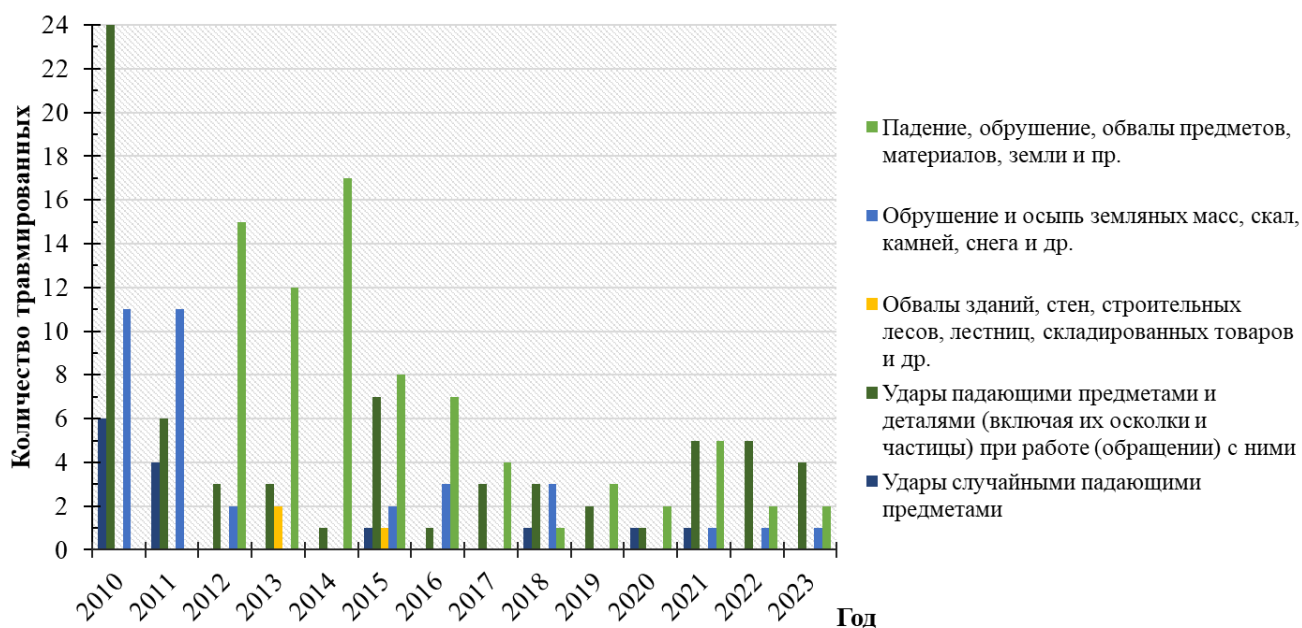


Рисунок 1.9 – Динамика травмирования персонала в результате падения предметов за 2010-2023 года (составлено автором)

В контексте анализа травматизма, обусловленного обрушениями и падениями объектов, можно констатировать, что наиболее распространенными инцидентами являются случаи обрушения строительных материалов, пород и других природных или антропогенных конструкций. Кроме того, значительная доля травм связана с воздействием ударных нагрузок, возникающих при падении объектов, с которыми непосредственно осуществляется производственная деятельность.

Как свидетельствует представленный график, обрушения и осыпания пород, хотя и характеризуются относительно низкой частотой, тем не менее регистрируются с определенной периодичностью. Данный факт подчеркивает

необходимость углубленного исследования и разработки комплексных мер по предотвращению подобных ситуаций.

Следует отметить, что для повышения эффективности профилактики травматизма в результате обрушений и падений необходимо учитывать не только статистические данные, но и анализировать технические аспекты, а также проводить оценку рисков на основе вероятностного анализа и моделирования потенциальных сценариев развития травмоопасных ситуаций.

3) Воздействие движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов.

Распределения видов травм в результате воздействия различных предметов представлено на рисунке 1.10.

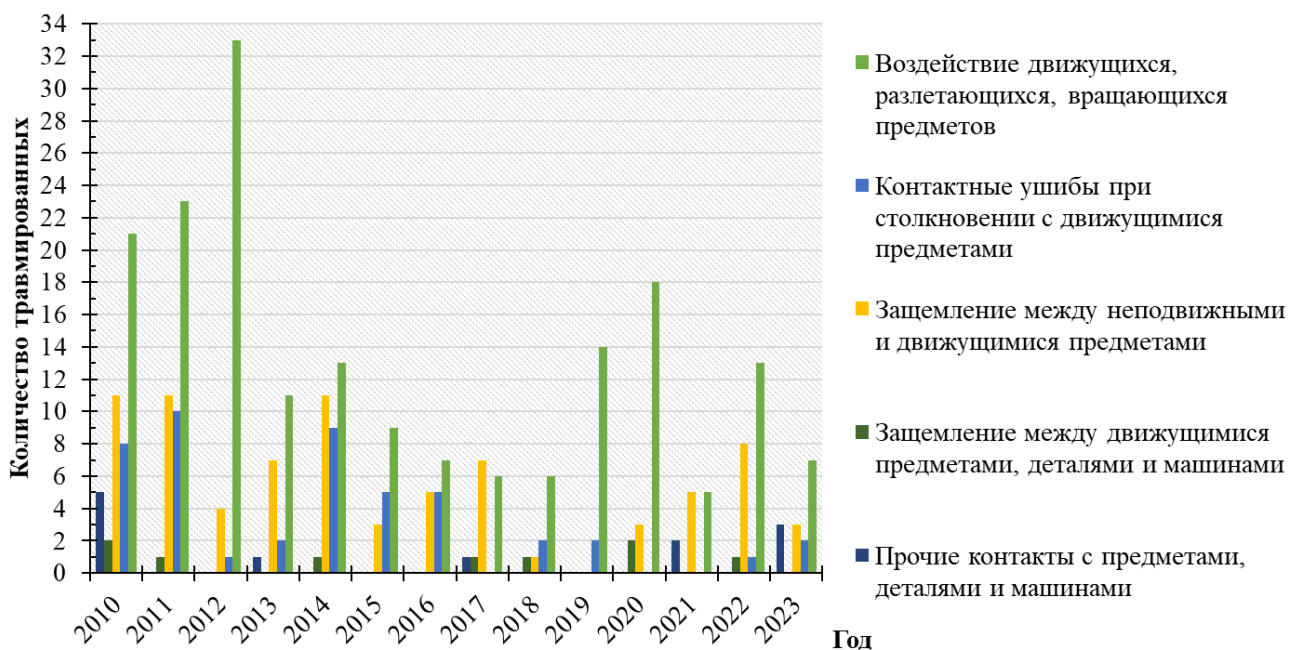


Рисунок 1.10 – Динамика травмирования персонала в результате воздействия предметов, деталей, механизмов и т.д. за 2010-2023 года (составлено автором)

Анализ статистических данных, представленных на графиках, демонстрирует, что травмы, обусловленные воздействием движущихся, разлетающихся и вращающихся объектов, остаются одной из наиболее распространенных причин. Несмотря на наблюдаемую тенденцию к снижению частоты подобных НС, данный фактор продолжает сохранять свою актуальность и значимость в контексте общей картины травматизма.

Дополнительно проведенный анализ и изучение такого травмирующего фактора, как защемление между предметами, выявил, что травмы, связанные с этой опасностью, также происходят регулярно. Однако, в отличие от случаев, вызванных движущимися объектами, частота подобных инцидентов демонстрирует меньшую тенденцию к снижению. Тем не менее, они продолжают вносить существенный вклад в общую статистику травматизма, хотя и в меньших масштабах по сравнению с первой упомянутой категорией.

1.4 Воздействие человеческого фактора при травмировании работников угольных шахт

Подробный анализ каждого случая позволил установить, что среди причин несчастных случаев можно выделить ряд основных направлений, а именно:

- несвоевременный мониторинг выделений метана в выработках;
- несвоевременный мониторинг динамических явлений в породах;
- нарушение технологии крепления и обнажения кровли;
- эксплуатация неисправных машин, механизмов, оборудования;
- конструктивные недостатки и недостаточная надежность машин, механизмов, оборудования, предметов труда;
- несовершенство и (или) нарушение технологического процесса;
- несоответствие оборудования и инструмента реализуемому технологическому процессу;
- неудовлетворительное техническое состояние проходов, проездов и выработок;
- нарушение требований безопасности при эксплуатации транспортных средств, конвейеров, переходов;
- неприменение и (или) неправильное применение работником средств защиты;
- нарушение работником трудового распорядка и дисциплины труда;
- выполнение работ не по специальности и должностной инструкции по личной инициативе;
- использование неверных или небезопасных приемов выполнения работ;

- неудовлетворительное содержание и недостатки в организации рабочих мест;
- отсутствие обучения работников безопасным приемам работ, необходимых лицензий и удостоверений при выполнении работ, требующих аттестации;
- выполнение работ не по специальности и должностной инструкции по инициативе начальства;
- производство работ с нарушением требований нормативно-технической документации.

Установленные группы причин приведены на рисунке 1.11.



Рисунок 1.11 – Диаграмма основных причин несчастных случаев на предприятии (составлено автором)

Согласно диаграмме, представленной на рисунке 1.11, причины травмирования работников характеризуются невыполнением или некорректным выполнением должностных обязанностей работников структурных подразделений, различных уровней реализации технологического процесса. Основная проблема травмирования работников заключается в негативном воздействии человеческого фактора (70-80% случаев), что проявляется в халатности, нарушении инструкций, недостаточной обученности, и ошибках при выполнении задач (рисунок 1.12) [68, 71]. Для решения этих проблем необходимо повысить уровень подготовки специалистов и регулярно проводить обучение в области менеджмента безопасности, внедрить систему контроля и аудита безопасности, пересмотреть

подход к организации работ с акцентом на планирование и безопасность, обеспечить соблюдение требований безопасности и нормативов, а также создать условия для безопасного труда, включая обустройство рабочих мест и применение СИЗ.

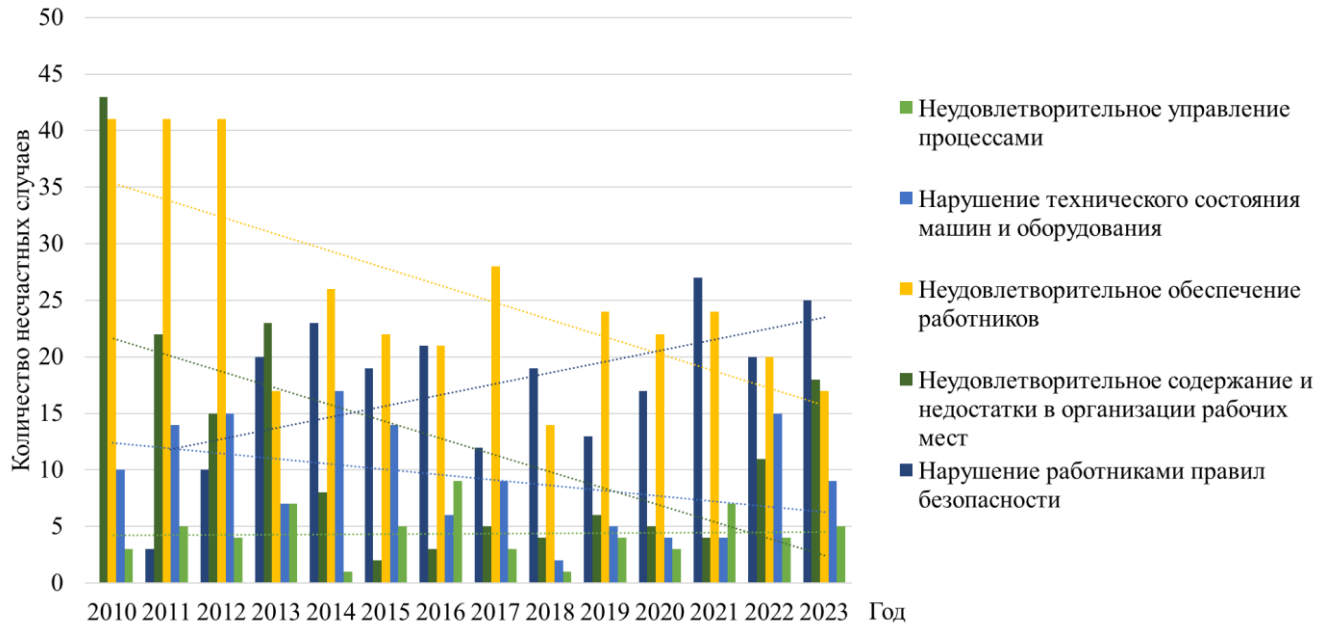


Рисунок 1.12 – Распределение наиболее распространенных причин НС с 2010 по 2023 года (составлено автором)

На основании анализа данных, представленных на графиках, можно сделать вывод, что среди пяти ключевых факторов, влияющих на уровень производственного травматизма, выделяются две доминирующие причины: недостаточная организация рабочих процессов и несоблюдение работниками правил безопасности. Также, несмотря на улучшение условий и обеспечения труда и планирование планово-предупредительных ремонтов, неудовлетворительное обеспечение работников и состояние машин и механизмов становятся частыми причинами травм персонала [71].

В России оценка производственного травматизма, особенно в горнодобывающей отрасли, базируется на применении традиционных методов. Эти подходы направлены на выявление рисков, прогнозирование аварийных ситуаций и разработку профилактических мер [81]. Перечень применяемых методик приведен в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Методы оценки травматизма (составлено автором)

Метод	Оцениваемые показатели
Статистический метод	Расчет коэффициентов травматизма.
Прогнозное моделирование	- Закон Пуассона для редких событий. - Ситуационное моделирование. - F-N кривые (аналоги зависимостей частоты и тяжести травм).
Комплексные подходы	- Монографический метод. - Топографический метод. - Групповой метод.

В российской практике традиционно используется метод оценки производительности труда, основанный на расчете коэффициентов на тысячу работников [38]. В то же время, в международной практике более распространены подходы, основанные на измерении производительности труда в человеко-часах или по объему произведенной продукции, например, в миллионах тонн руды. Зарубежные подходы характеризуются более системным подходом, включающим использование прогнозных моделей и анализ «пирамиды несчастных случаев» для комплексной оценки и управления рисками.

Уровень производственного травматизма традиционно определяется с помощью коэффициентов, которые характеризуют частоту и тяжесть несчастных случаев [89, 90]. Эти показатели широко представлены в официальных статистических публикациях и являются неотъемлемой частью мониторинга условий труда на предприятиях [31, 57].

В целях анализа травматизма принят статистический метод, при котором обрабатываются статистические данные по травматизму и вычисляются показатели травматизма, представленные в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Показатели травматизма (составлено автором)

Название показателя	Расчетная формула	Пояснение
Коэффициент частоты травматизма, $K_{\text{ч}}$	$K_{\text{ч}} = \frac{N}{C} \cdot 1000, \quad (1.7)$	где N – количество НС; C – среднесписочный состав работников.
Коэффициент тяжести травматизма $K_{\text{т}}$	$K_{\text{т}} = \frac{D}{N} \cdot 1000, \quad (1.8)$	где D – количество дней нетрудоспособности при НС.
Коэффициент общего травматизма $K_{\text{общ}}$	$K_{\text{общ}} = K_{\text{ч}} \cdot K_{\text{т}} \quad (1.9)$	

На основе изучения статистики, которая отражает частоту и тяжесть происшествий в компании, проводится оценка вероятности безопасной работы и риска получения травм. Использование вероятностно-статистических методов при анализе травмоопасных ситуаций обеспечивает объективность и точность оценки рисков, что имеет решающее значение для принятия обоснованных управленческих решений в сфере охраны труда.

Вероятность n -ого количества НС определяется по формуле (1.10):

$$P_n = \frac{\left(\frac{K_q}{1000} C t \beta\right)^n}{n} \exp\left(-\frac{K_q}{1000} C t \beta\right), \quad (1.10)$$

где: $P(n)$ – вероятность n -ого количества несчастных случаев;

C – среднесписочная численность работников в рассматриваемом периоде;

t – продолжительность работы предприятия, лет;

β – повышающий коэффициент, применимый, если имеются результаты исследований с установленным значением $1 \leq \beta \leq 5$;

K_q – частота реализации несчастных случаев.

Из общей формулы вероятности можно выразить прогностические оценки различных событий, связанных с производственным травматизмом. Так, вероятность безопасной работы одного человека, можно вывести из формулы (1.10), если приравнять C , t и β к единице, в результате получим зависимость (1.11):

$$P_0 = \exp\left(-\frac{K_q}{1000}\right), \quad (1.11)$$

В целях оценки была рассчитана вероятность травмирования работников в зависимости от основных причин получения травм. Для этого была определена средняя частота травмирования за 2023 год. Полученные значения представлены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Расчет вероятности реализации травмоопасных событий в зависимости от причин (составлено автором)

Причина НС	Частота реализации	Вероятность реализации	Вероятность безопасной работы
------------	--------------------	------------------------	-------------------------------

Недостаточная организация рабочих процессов	0,19	0,04	0,42
Неудовлетворительное обеспечение работников	0,40	0,64	0,16
Неудовлетворительное состояние машин и механизмов	0,15	0,015	0,51
Несоблюдение работниками правил безопасности	0,27	0,16	0,29
Неудовлетворительное управление процессами	0,07	0,0005	0,73

Данная динамика свидетельствует о том, что, несмотря на предпринимаемые меры по повышению уровня охраны труда, проблема несоблюдения установленных норм и правил со стороны работников продолжает оставаться актуальной. Это подчеркивает необходимость дальнейшего совершенствования систем контроля за соблюдением трудовой дисциплины и разработки эффективных механизмов стимулирования соблюдения норм и правил безопасности. Также требуется проведение углубленного исследования факторов, способствующих формированию культуры безопасного поведения и ответственного отношения к соблюдению норм охраны труда на производстве.

1.5 Выводы к главе 1

Анализ контрольно-надзорной деятельности на предприятиях угольной промышленности выявляет ряд системных проблем, оказывающих значительное влияние на обеспечение безопасности и противоаварийной устойчивости объектов. Ключевым аспектом, требующим особого внимания, является недостаточный уровень технологической и производственной дисциплины. Нарушения регламентов безопасного выполнения работ, а также ослабление контроля со стороны служб производственного мониторинга и инженерно-технического персонала становятся серьезной проблемой при обеспечении безопасности ведения работ и эксплуатации угольных предприятий.

В настоящее время многие компании разрабатывают меры по улучшению производственной безопасности по результатам произошедших аварий и несчастных случаев. Однако причины этих инцидентов зачастую не совпадают с

официально установленными факторами. Такой подход, основанный на реактивном управлении рисками, может быть недостаточно эффективным для предотвращения будущих инцидентов, поскольку он не учитывает потенциальные угрозы на ранних стадиях их формирования. В условиях стремительного развития технологий и усложнения производственных процессов становится критически важным внедрять проактивные стратегии управления рисками, которые позволяют выявлять и нейтрализовать потенциальные опасности до их реализации.

Таким образом, с целью снижения уровня производственного травматизма при подземной добыче угля необходимо разработать адресные превентивные мероприятия по предупреждению развития травмоопасных событий, определяемые согласно методу оценки профессионального риска горнорабочих, который учитывает вероятности ошибочных действий персонала различных уровней управления технологическим процессом и причины их реализации.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- оценить вероятность возникновения ошибочных действий среди групп персонала различного уровня управления технологическим процессом и их влияние на реализацию горно-технологических, технических и организационных причин травмирования работников;

- обосновать механизм воздействия ошибок среди групп персонала различного уровня управления технологическим процессом на риск травмирования горнорабочих;

- разработать метод оценки профессионального риска, учитывающего влияние вероятности возникновения ошибочных действий для группы работников, наиболее склонных к нарушениям;

- разработать адресные мероприятия по предупреждению реализации причин возникновения ошибочных действий исследуемой группы работников.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

2.1 Понятие «человеческий фактор» и определение области его применения

Человеческий фактор (ЧФ) – это многогранная концепция, которая изучает сложное взаимодействие между человеком и технологическим устройством в конкретных рабочих условиях. Она включает в себя психологические, физиологические и другие важные характеристики человека, а также его компетенции, возможности и ограничения. Всестороннее понимание этих элементов позволяет рассматривать человека как ключевой компонент рабочей среды, что облегчает оценку его влияния на безопасность и эффективность рабочего процесса [4, 44, 46].

Человеческий фактор (human factors, engineering psychology) представляет собой междисциплинарную область, объединяющую прикладные исследования и практические приложения, направленные на изучение и оптимизацию взаимодействия между человеком и современной техникой. Эта область рассматривает сложные взаимосвязи между технологическими процессами, продукцией (системами, средами, машинами) и пользователями, включая операторов, лиц, принимающих решения, и обслуживающий персонал.

Хотя психология занимает центральное место в этой дисциплине, она также интегрирует инженерные науки, такие как научная организация труда, электроника и машиностроение, а также вычислительную технику, программирование, физическую антропологию, физиологию, медицину, техническую эстетику и педагогику. Специалисты в области человеческого фактора проводят комплексные эксперименты, обследования и аналитические исследования, направленные на накопление знаний о взаимодействии человека с техникой и технологиями, а также на решение прикладных задач. Практики, в свою очередь, применяют эти знания при разработке и эксплуатации технических средств, сотрудничая с конструкторами и дизайнерами.

Основной фокус внимания специалистов по анализу человеческого фактора сосредоточен на анализе совместной работы людей и машин, а также на

повышении эффективности действий операторов, обслуживающих технические системы. В Европе и Азии аналогом термина «человеческий фактор» является «эргономика» (от греческих слов *ergon* – работа и *nomos* – закон), которая акцентирует внимание на физиологических аспектах трудовой деятельности и эксплуатационных характеристиках машин и оборудования [14, 15, 52].

Таким образом, междисциплинарный подход к изучению действий человека при выполнении должностных обязанностей и эргономики обеспечивает комплексное понимание и оптимизацию взаимодействия человека с техникой, что является ключевым аспектом для повышения эффективности и безопасности современных технологических систем.

Наука о человеко-машинном взаимодействии стремится оптимизировать взаимодействие между человеком и машиной, что достигается двумя основными подходами: адаптацией машин и среды к человеческим возможностям и ограничениям или адаптацией человека к требованиям, предъявляемым машинами, посредством процессов обучения и отбора.

Вторая мировая война послужила катализатором для интенсивного развития эргономики, особенно в контексте военной техники. Для военных первостепенное значение имела эффективность вооружения и транспортных средств в боевых условиях. В то же время, для производителей ключевым аспектом была безопасность конечного продукта. Конкуренция в области интерактивных систем стимулировала дальнейшее развитие эргономики, включая такие параметры, как размеры дисплеев и качество программных интерфейсов. Автоматизация процессов, включая разработку роботов, также потребовала учета эргономических принципов.

На начальных этапах исследования охватывали относительно простые задачи, однако со временем они расширились до изучения интерфейсов управления, панелей приборов и комплексных систем. Были проведены многочисленные эксперименты для определения максимальной рабочей нагрузки операторов и разработки эффективных методов их подготовки. Эти исследования

внесли значительный вклад в развитие науки об эргономике, заложив основы для последующего изучения сложных систем взаимодействия человека и техники.

Однако в настоящее время понятие ЧФ носит преимущественно негативный характер и отражает опасное воздействие решений и действий персонала, которые приводят к аварии или травмам.

В ГОСТ 12.0.002-2014 дано следующее определение человеческого фактора: человеческий фактор – это совокупность личностных характеристик и поведения работающего, вызывающая в процессе трудовой деятельности преднамеренные или непреднамеренные, но неверные, действия различного характера, в итоге приводящие к опасным происшествиям и ситуациям, инцидентам, авариям, несчастным случаям, производственно-обусловленным и профессиональным заболеваниям [29].

Вклад ЧФ в возникновение аварийных ситуаций на опасных производственных объектах (ОПО) является критически значимым. Угольная промышленность относится к числу наиболее опасных отраслей из-за влияния комплекса горно-геологических условий, наличия взрывоопасных газов, угольной пыли, рисков обрушения пород и применения тяжелой техники [24, 62]. Однако, как показывают данные исследований аварий (включая катастрофы на шахтах им. Засядько, «Распадская», «Ульяновская» и др.), от 60% до 90% всех инцидентов прямо или косвенно связаны с человеческим фактором, так как технические системы пассивны без проектирования, обслуживания и управления человеком [52-54].

Негативное воздействие человеческого фактора подразделяется на 3 группы причин: организационно-управленческие причины (фактор руководства), ошибочные действия исполнителей (действия непосредственных исполнителей) и психофизиологические и социальные причины.

1) К организационно-управленческим причинам относятся коренные причины, создающие предпосылки для ошибок на нижних уровнях принятия решений и выполнения работ. К таким причинам относятся:

а) несовершенство или несоблюдение процедур:

- нарушение проектных решений (ведение работ в не предусмотренных проектом зонах, с превышением допустимых скоростей подвигания забоев);

- неадекватное планирование работ (несогласованность действий различных служб (огибающие, проходческие, вентиляционные бригады)).

б) недостатки в обучении и инструктаже:

- формальный подход (формальное проведение инструктажей, без проверки реального усвоения знаний);

- недостаточная подготовка на конкретных типах оборудования (работник знает теорию, но не имеет мышечной памяти и навыков действий в нестандартных ситуациях);

в) неэффективный контроль и надзор:

- слабость контроля со стороны инженерно-технических работников (ИТР);
- поддержание культуры игнорирования нарушений (сложившаяся практика закрывать глаза на мелкие нарушения ради выполнения плана);

г) низкий уровень культуры безопасности:

- приоритет производства над безопасностью (давление со стороны руководства на выполнение плана любой ценой);

- отсутствие системы поощрений за соблюдение требований безопасности (чаще наказывают за невыполнение плана, чем за нарушение правил безопасности).

2) К ошибочным действиям исполнителей относятся непосредственные действия или бездействие работников, приводящие к инциденту. Например, нарушение технологических регламентов и инструкций, самовольное отключение систем безопасности для продолжения работы, проведение взрывных работ при повышенной концентрации метана. В настоящее время данные нарушения имеют место при указаниях руководства, а не согласно произвольному решению исполнителей процесса.

Также к ошибкам могут относиться пренебрежение респираторами, средствами защиты, касками и неадекватная оценка рисков (самоуверенность,

пренебрежение опасностью, полагание на свой опыт, неумение идентифицировать новые или скрытые опасности).

3) В основе ошибочных действий и нарушений преимущественно лежат психофизиологические и социальные причины, такие как утомление, стресс, групповые процессы и состояние здоровья. Утомление имеет физическое и эмоциональное проявления, в результате которых работник медленно реагирует на изменения в технологическом процессе, при этом проявляя апатию и безразличие к собственной безопасности и безопасности коллег, что часто вызвано длительными сменами, тяжелым физическим трудом.

Стресс при выполнении работ возникает из-за давления руководства, личных проблем, сочетание которых вызывает страх перед дальнейшей возможностью выполнять работу (например, страх быть уволенным за невыполнение плана, страх за вытекающие семейные конфликты, финансовые трудности).

Влияние групповых процессов – один из самых сложных для контроля факторов. Нежелание выделяться вместе с неверной групповой оценкой рисков приводит к игнорированию правил безопасности, в том числе при передаче опыта от более старшего поколения новым работникам. Так, если коллектив допускает нарушения, новичку или даже сознательному работнику сложно им противостоять.

Также необходимо учитывать состояние здоровья работников и возможные заболевания, которые значительно прогрессируют при тяжелых условиях труда. В результате, заболевания, снижающие внимание и реакцию, употребление алкоголя/наркотиков становятся причинами реализации аварий и травм.

Таким образом, человеческий фактор может иметь положительное и отрицательное воздействие на реализацию процессов предприятия [2, 16]. В работе под негативным воздействием человеческого фактора рассматриваются *ошибочные действия персонала* – нарушения, действие или бездействие, повлекшие реализацию цепочки причин развития травмоопасной ситуации.

В исследовании В.А. Галкина, А.М. Макарова, И.Л. Кравчука и А.В. Соколовского проведен подробный анализ взаимодействия и взаимоотношения персонала с последующим выявлением причин и недостатков в организации труда:

- отсутствуют детализация трудовых функций, четкие прописанные требования к квалификации персонала, стандартизация производственных процессов и отдельных операций;

- отсутствуют критерии оценки и премирования качества выполнения технологического процесса и соблюдения правил безопасности или носят субъективный характер;

- отсутствует система развития производства и поощрения вовлеченного персонала [23].

При этом небезопасное поведение работников обычно представляет собой умышленное, но не злонамеренное нарушение правил охраны труда [67]. Анализ когнитивной модели принятия решений показывает, что ошибки персонала возникают на пяти этапах: получение информации, понимание информации, реакция восприятия, выбор действий и совершение действия [120, 124]. Такое поведение подразделяется на умышленное и неумышленное. Умышленные нарушения носят целенаправленный характер и происходят, когда стремление сэкономить время или повысить производительность доминирует над соображениями безопасности. Это часто связано с недооценкой риска работником и несоблюдением правил безопасности в коллективе [122, 139].

В результате, ежегодно на горнодобывающих предприятиях России регистрируется более 700 тысяч нарушений требований безопасности [21]. Проблемы нарушения безопасности проявляются при принятии решений, а именно в действии и бездействии персонала при реализации технологического процесса. В исследовании Виноградовой О.В. проводится анализ существующих моделей и классификаций ошибочных действий персонала. Отдельным преобладающим видом ошибок автор выделяет отклонения от нормативных требований и правил безопасности с определением видов нарушений и ошибок, что позволяет рассматривать адресные мероприятия, наиболее эффективные для конкретного вида [15].

Анализ предложенной модели позволил выявить четыре основных направления, которые становятся причинами негативного воздействия

человеческого фактора на всех уровнях принятия решений. В то же время, анализ нарушений работников различных уровней показал необходимость рассмотрения классификации причин возникновения аварийных ситуаций и травматизма на угольных шахтах, основанной на анализе готовности персонала к безопасному выполнению работ. Таким образом, классификация позволяет рассматривать человеческий фактор через призму четырёх ключевых причин: квалификация, мотивация, психофизиология и обеспечение работников.

Первая группа причин связана с компетенциями персонала, когда работник не обладает необходимым объёмом знаний, навыков или информации для безопасного выполнения производственных задач. Это проявляется в незнании инструкций по охране труда, принципов работы систем безопасности, правил использования средств индивидуальной защиты и других важных областей [17, 51]. За этим стоят системные просчёты в организации обучения, которое зачастую носит формальный характер, оторвано от практики и не включает отработку действий на тренажёрах или в виртуальных симуляторах. Не менее важной проблемой является отсутствие доступных и визуализированных инструкций непосредственно на рабочих местах, а также недостаточная проверка реального усвоения знаний, что в совокупности приводит к допуску на опасные объекты недостаточно компетентного персонала.

В исследованиях российских ученых большое внимание уделяется проблеме соответствия квалификации персонала требуемому комплексу знаний и навыков [92]. Согласно исследованиям А.С. Ворошилова, Я.С. Ворошилова, А.И. Фомина и других ученых, необходимо разрабатывать критерии оценки интеллектуальных, социальных, психологических и психофизиологических качеств с учетом ограничений и возможных противопоказаний к будущей деятельности, которым должен соответствовать работник для перехода воздействия человеческого фактора из негативной области в положительную и соответствия способностей работника требуемым способностям на рассматриваемой должности [17, 77, 115].

В работе А.В. Галкина рассматривается проблема сменяемости кадров: на рабочие места приходят низкоквалифицированные работники, для которых

требуется подготовка не только по ведению технологического процесса, но и по умению анализировать его «слабые звенья», правильно оценивать риски и опасности, – все, что в ином случае работники узнают только на собственном опыте уже в процессе ведения работ [20, 22].

Таким образом, улучшение квалификационной составляющей среди причин негативного воздействия человеческого фактора достигается за счет профессионального отбора и обучения при соответствии требуемого и имеющегося уровня квалификации персонала [16, 45, 60].

Вторая группа причин возникает тогда, когда работник, обладая необходимыми знаниями, сознательно пренебрегает правилами безопасности. Примерами могут служить отключение датчиков и систем сигнализации для упрощения работы, игнорирование требований к применению СИЗ и нарушение технологических регламентов с целью экономии времени и сил. Корень проблемы лежит в области организационной культуры и системы мотивации. Зачастую на предприятиях существует негласный приоритет выполнения производственного плана над всеми остальными показателями, что создаёт прямое или косвенное давление со стороны руководства. Формируется толерантность к нарушениям, а соблюдение норм охраны труда может восприниматься в коллективе как действие, подрывающее групповую солидарность и мешающее общей работе. Отсутствие действенных поощрений за безопасное поведение и непоследовательность в применении дисциплинарных мер лишь усугубляют эту ситуацию.

В исследовании Е.Д. Михайленко и А.И. Фомина мотивация рассматривается ключевой причиной ошибок и травматизма. Современные подходы к проблеме мотивации состоят, с одной стороны, в выделении и составлении системы принуждающих к безопасному поведению факторов, с другой стороны – системы мотивов и стимулов к эффективному и безопасному труду. От правильного сочетания этих систем зависит, станет ли для работника цель трудиться безопасно и качественно внутренне значимой, ценной и осознанно необходимой [83, 84].

Первая и вторая категории причин формируют проблему недостаточной квалификации управляющего и исполнительного персонала в области

менеджмента безопасности труда и управления профессиональными рисками. В исследовании Е.И. Комаричевой и О.В. Виноградовой проводится анализ проблем соответствия существующих программ образования и подготовки кадров для горной промышленности и требований предприятий. Одной из особенностей современного образования авторы отмечают создание интегрированных курсов по рациональному природопользованию и безопасности труда как части программ по горному делу [60]. Следующим этапом для совершенствования систем подготовки кадров в области горного дела необходимо рассматривать внедрение вопросов безопасности и природопользования в базовые дисциплины по горному делу, а также изучение системы менеджмента и управления в области горного дела с учетом систем менеджмента безопасности, что позволит изучить аспекты безопасности и современные методы ее обеспечения без отрыва от изучения технологических и производственных процессов [112]. Развитие данной области знаний в компании позволяет повышать уровень умений и навыков исполнительного персонала при безопасном выполнении работ за счет грамотного применения менеджмента безопасности и формирования культуры безопасности труда руководством, что позволяет управлять человеческим фактором, как ключевой причиной реализации опасностей [137, 154, 158].

Третья группа причин обусловлена психофизиологическим состоянием работника, которое объективно не позволяет ему действовать безопасно, даже при наличии соответствующих знаний и желаний. Критическое снижение концентрации внимания, замедление скорости реакции и неспособность адекватно оценить риск могут быть следствием физического переутомления из-за длительных и напряжённых смен, кумулятивной усталости, а также острого или хронического стресса.

К особенностям психофизиологии также относится склонность человека к риску. В исследовании Фомина А.И. и Осиповой А.А. проводилась оценка рискованного поведения персонала угольных шахт. В результате авторам удалось выделить наиболее склонные к риску возрастные группы персонала, для которых рискованное поведение является нормой при выполнении должностных

обязанностей, при этом безопасное поведение характерно около 40% работников [113, 114].

Не менее серьёзную угрозу представляют внезапные приступы заболеваний или состояние опьянения. Системными причинами здесь выступают недостаточная эффективность пред- и послесменных медицинских осмотров, носящих зачастую формальный характер, и допуск к работе сотрудников, которые по состоянию здоровья не должны находиться в опасной зоне. Работник может скрывать своё недомогание из-за экономических мотивов или страха перед дисциплинарным воздействием.

Таким образом, дальнейшее снижение травматизма в угольной отрасли может быть достигнуто при реализации мероприятий, направленных на психофизиологические и социальные аспекты трудовой деятельности [115].

Четвёртый блок причин полностью относится к сфере ответственности руководства предприятия и связан с ситуацией, когда работник не обеспечен возможностью трудиться безопасно. Это выражается в отсутствии или неисправности необходимого инструмента, оборудования, ограждений и средств контроля, в выдаче несоответствующих условиям труда или некачественных средств индивидуальной защиты, а также в работе в условиях, которые не были приведены в безопасное состояние по вине администрации. При оснащении и применении современных передовых средств труда и защиты, фундаментальной причиной становится неэффективное планирование обеспечения технологического процесса, технического обслуживания и ремонта механизмов, а также слабая организация процессов снабжения. Нереальные плановые задания, не оставляющие времени на выполнение всех регламентных процедур по безопасности, также создают системное принуждение к нарушению.

Анализ статистических данных показал, что около 30% травм происходят из-за отсутствия на рабочих местах необходимых средств труда и условий для реализации поставленной задачи. Например, перемещение машин и установок на поверхность для ремонта осложнено габаритами проходов или несоблюдением

нормативных расстояний в выработках, а при ремонте подземного оборудования или перемещении запчастей отсутствуют стандартные крепежи и детали.

2.2 Современные проблемы оценки человеческого фактора при анализе рисков травмирования персонала

Условия труда (УТ) при добыче полезных ископаемых характеризуется недружественными для человека факторами [3, 91, 122], такими как: пониженная температура воздуха, влажность/сухость воздуха, большие скорости движения воздуха по основным выработкам, пыль, взрывные и выхлопные газы, шум, вибрация, суфлярные выделения газов, повышенная опасность травмирования и развития профессиональных заболеваний [19, 68, 79, 110].

В исследовании Мигуновой Ю.В., Лазаренкова А.М. и других ученых приводится анализ влияния факторов производственной среды на работников различных отраслей промышленности. Согласно оценке авторов, для сотрудников горнодобывающих производств наиболее вредными остаются физические факторы, к которым относятся шум, воздушный ультра- и инфразвук – 26,4 %, а также тяжесть труда, которая, как фактор трудового процесса, занимает второе место в рейтинге вредных и опасных условий труда отрасли, – 22,2 % среди работников, подверженных воздействию ОВПФ [59, 79, 82].

Все эти условия влияют на психофизиологическое состояние населения, живущего и работающего в этих регионах [70], что, в свою очередь, приводит к повышенным значениям профессиональной заболеваемости и производственного травматизма [11, 12, 65]. В исследовании Ковшова С.В. и Сюрин С.А. приводятся показатели по Чукотскому и Ненецкому автономным округам, где почти все профессиональные заболевания главным образом развивались у работников горнодобывающих предприятий (80,6%), среди которых наиболее распространёнными были поражения внутреннего уха (32,5%), хронический бронхит (24,1%), моно- и полиневропатии (12,7%) [59, 127].

Шум является одним из наиболее распространенных факторов производственной среды на рабочих местах многих компаний как в России, так и за рубежом [27, 103, 155]. Анализ воздействия шума на персонал предприятий

подробно рассматривался в исследованиях автора диссертационного исследования [63, 68, 73, 75, 88, 144]. Так, при добыче полезных ископаемых воздействие шума происходит от таких видов деятельности, как добыча, транспортировка и дробление, где все оборудование считается источниками непостоянного шума [145]. Таким образом, работники, обеспечивающие обслуживание и эксплуатацию рассматриваемых машин и оборудования, постоянно подвергаются воздействию шума [37, 146].

В исследованиях по изучению реакций организма в условиях шумовой нагрузки отмечено, что воздействие шума может сопровождаться рядом иных последствий, в том числе оказывать влияние на различные когнитивные процессы, такие как время реакции, память, утомление и внимание. Человеческая ошибка и, в некоторых случаях, увеличение числа травм, может быть результатом изменения показателей внимания [133]. Jafari M.J. и другие зарубежные ученые обнаружили снижение внимания у испытуемых, подвергавшихся воздействию низкочастотного шума, и значительное снижение зрительного и слухового внимания, когда интенсивность шума была на уровне 95 дБА [130, 134].

Приведенный в статье Li J. и др. статистический анализ аварий показывает, что более 95% аварий на угольных шахтах связано с человеческими ошибками, одной из причин которых является воздействие шума. Авторами было установлено, что поведенческие способности шахтеров в условиях повышенного шумового воздействия 85 дБ и 95 дБ значительно ниже, чем в условиях с низким уровнем шума [138, 141]. Также, шум отрицательно коррелирует с вниманием и реакцией, и положительно коррелирует с усталостью с величиной достоверности аппроксимации 0,9.

Таким образом, результаты рассматриваемых исследований показывают, что когнитивные процессы, обеспечивающие взаимодействие с окружающей средой, должный уровень работоспособности и безопасности на рабочем месте, при воздействии шума свыше 70-80 дБ, значительно снижаются [111, 143].

При выполнении работ в различных температурных условиях важно учитывать уровень энергозатрат при выполнении поставленных задач [5, 142].

Энергозатраты непосредственно влияют на выносливость и скорость утомления: при неправильном отведении тепла или переохлаждении увеличивается риск развития профессиональных заболеваний и получения травм [28, 148].

Как и работа в условиях низких температур, занятость в условиях повышенных тепловых нагрузок становится актуальной проблемой, так как при увеличении глубины работ температура в выработках начинает превышать допустимые значения. [90, 129]

Влияние микроклиматических параметров существенно затрудняет выполнение трудовых функций при добыче и переработке полезных ископаемых [68, 149, 157], и стандартные средства защиты могут не только препятствовать коммуникации между работниками, но и усугублять воздействие микроклиматических параметров [79, 132]. При этом трудовая деятельность в рассматриваемых условиях также сопряжена с действием других вредных производственных факторов, таких как шум, аэрозоли преимущественно фиброгенного действия, вибрация, освещенность. В результате чего нельзя не учитывать совокупное действие данных факторов, которые при сочетанном воздействии ускорят развитие профессиональных заболеваний и увеличат риск получения травм [152].

Организация работ в системе «человек – техническая система – производственная среда» должна учитывать влияние производственной среды на процесс взаимодействия человека с технической системой [19]. В условиях высокой вероятности опасного воздействия, преимущественно на ОПО, на процесс взаимодействия работника с технической системой будут оказывать влияние такие факторы, как световая среда и уровень запыленности на рабочем месте [68]. Освещенность, запыленность и загазованность оказывают негативное влияние на здоровье работников. В то же время, указанные факторы снижают способность работников взаимодействовать друг с другом, с машинами и механизмами, орудиями труда, а также своевременно реагировать на горные удары, выбросы и вывалы пород, опасных газов или воды и другие опасные проявления действия горного давления [44, 49, 58]. Несоответствие уровня освещенности на рабочем

месте категории зрительных работ приводит к ухудшению функционального состояния персонала, а также ухудшает процесс взаимодействия с технической системой [9, 40]. В результате происходит снижение внимания и скорости реакции, при этом усталость и стресс персонала возрастает [26, 131]. Кроме того, низкая освещенность оказывает воздействие на физиологические процессы в организме людей. Baron R.A. и др. в своем исследовании установили, что освещенность имеет сильную отрицательную корреляцию с такими показателями как ЧСС и частоты дыхания. Авторы установили, что при снижении освещенности до уровней менее 50-100 лк количество несчастных случаев увеличивается [123, 147].

Уровень запыленности на рабочих местах является как вредным, так и опасным производственным фактором [5]. Постоянное воздействие фиброгенной пыли с концентрацией, превышающей нормативные значения, приводит к заболеваниям дыхательной системы. В то же время наличие органических и горючих пылей на рабочем месте во взрывоопасных концентрационных пределах несет риск взрыва аэрозоля [10]. Значительная запыленность рабочей среды и фракционный состав пыли оказывают значительное влияние на рассеивание света, что ухудшает видимость и условия труда, а также затрудняет взаимодействие персонала с машинами и оборудованием [58]. В настоящее время запыленность на рабочих местах оценивается только в рамках специальной оценки условий труда (СОУТ), по результатам которой учитывается воздействие аэрозолей преимущественно фиброгенного действия на здоровье работников, включая риск развития профессиональных заболеваний. Однако в вопросах оценки безопасности условий ведения работ, видимости на рабочих местах и обеспечения процесса взаимодействия с техническими системами концентрация пыли в воздухе рабочей зоны остается неучтенной.

Важными показателями при оценке воздействия производственной среды и трудового процесса на работников являются тяжесть и напряженность труда.

Физиологическое воздействие тяжести труда обусловлено преимущественной нагрузкой на опорно-двигательный аппарат и системы жизнеобеспечения. Как отмечается в исследованиях, при тяжелом физическом

труде суточные энергозатраты достигают 17-25 МДж (6000 ккал), что сопровождается повышенным потреблением кислорода, увеличением частоты сердечных сокращений до 30% и ростом артериального давления [16, 26, 76]. Длительное воздействие статодинамических нагрузок (подъем/перенос грузов, вынужденные позы) провоцирует стойкие функциональные нарушения: дегенеративно-дистрофические изменения позвоночника, варикозное расширение вен, артериальную гипертензию. При этом еще в 1930-х годах физиологами был выявлен парадокс: снижение энергозатрат при конвейерной организации труда не уменьшало утомляемость работников из-за нарастания нервно-психического компонента нагрузки [121].

Психофизиологическое влияние напряженности труда связано с нагрузкой на центральную нервную систему, органы чувств и эмоциональную сферу [74, 86]. У работников интеллектуального труда, таких как диспетчеры, машинисты добычных комбайнов и экскаваторов, при суточных энергозатратах до 3000 ккал наблюдается нейрогенная тахикардия, лабильность артериального давления и изменения на ЭКГ, обусловленные хроническим стрессом [76, 153]. Ключевыми триггерами выступают:

- эмоциональные перегрузки при ответственности за безопасность людей или материальные ценности;
- сенсорные перегрузки при обработке множества сигналов (операторы пультов управления);
- когнитивная депривация при монотонных операциях (конвейерные работники) [69, 139].

Тяжесть и напряженность труда формируют комплексную нагрузку на организм, причем в современном производстве доминируют смешанные формы воздействия: даже при сниженных энергозатратах нервно-эмоциональное напряжение способно переводить труд в категорию вредного [69, 70, 136]. Методики СОУТ обеспечивают инструментальную оценку физических и психофизиологических показателей, но требуют дальнейшего развития в части:

- учета нелинейных эффектов комбинированного воздействия факторов;

- разработки объективных критериев оценки когнитивной и эмоциональной нагрузки;
- учета психофизиологических показателей работников в зависимости от видов выполняемых работ.

Уровень стресса и утомления на рабочих местах может быть определен согласно динамике психофизиологических показателей работников. Психологические параметры, определяемые с помощью специализированных тестов на анализ скорости реакции, утомления и количества ошибок, позволяют установить категории работников, склонных к риску, которым необходимо дополнительное обучение безопасным методам ведения работ, снижение тревожности и улучшение эмоциональной устойчивости [87, 140].

Вариативность личностных показателей и особенностей психологических качеств работников приводит к тому, что горнорабочие имеют значительную разницу в склонности к риску. Отличия могут также наблюдаться между работниками в одинаковых условиях или у одного работника при динамике условий окружающей среды.

В исследованиях зарубежных ученых установлено, что в любом коллективе основная доля несчастных случаев приходится на определенную категорию работников при равных условиях проведения работ. Это наглядно свидетельствует о том, что индивидуальные качества играют существенную роль в организации безопасности при ведении работ [114, 135, 140].

Кандидатов, склонных к травмоопасным действиям, целесообразно не привлекать к работам с проявлением вредных и опасных факторов, так как контроль изменения психофизиологических качеств работника – затруднительный и трудоемкий процесс, который зачастую трудно реализуем в рабочих условиях. В результате чего для предупреждения развития опасных ситуаций, а также в целях управления человеческим фактором необходимо учитывать психофизиологические параметры работников, что позволит усовершенствовать профессиональный отбор на предприятии [126, 151].

Психофизиологические характеристики персонала напрямую влияют на его безопасное поведение, производительность труда и подверженность профессиональным рискам и травмам [125]. В течение рабочей смены работоспособность и уровень утомляемости сотрудников меняются. Поэтому крайне важно оценивать состояние сотрудников перед началом работы и по ее завершении. Такая оценка позволяет определить, соответствуют ли сотрудники требованиям, предъявляемым к конкретным задачам, которые им поручены. Кроме того, она облегчает мониторинг уровня их утомляемости. Более того, она позволяет своевременно принимать необходимые корректирующие и реабилитационные меры.

Согласно зарубежным научным данным, более 50% несчастных случаев и смертельных исходов в горнодобывающей отрасли связаны с утомлением и стрессом сотрудников. Это указывает на то, что утомление является значимым фактором риска, способствующим увеличению вероятности серьезных инцидентов на производстве. Работы зарубежных ученых подтверждают данную тенденцию, подчеркивая необходимость дальнейшего изучения механизмов развития утомления и разработки эффективных стратегий его профилактики [124, 156].

Несмотря на наличие значительного объема научных исследований, посвященных проблеме утомления, в горнодобывающей промышленности наблюдается дефицит знаний о ее причинах и методах контроля. Существующие исследования не обеспечивают полного понимания факторов, способствующих развитию усталости у шахтеров, а также не предлагают унифицированных подходов к ее измерению и управлению.

Таким образом, проблема снижения когнитивных способностей персонала в угольной промышленности требует комплексного междисциплинарного подхода, включающего исследование физиологических, психологических и организационных аспектов данного явления.

2.3 Существующие методики оценки негативного воздействия человеческого фактора

Государственная политика Российской Федерации [107] основана на двух принципах, которые заключаются в предупреждении и профилактике опасного воздействия и минимизации повреждений здоровья работников.

Первый принцип заключается в систематизации мероприятий по улучшению условий труда, введении циклов непрерывного менеджмента в области ОТ, что позволяет своевременно реагировать на рост уровней профессиональных рисков, снижать их значения и закладывать дальнейшие мероприятия в целях недопущения повторного роста.

Второй принцип заключается в постоянной готовности к локализации (минимизации) и ликвидации последствий реализации профессиональных рисков [6, 18].

В целях обеспечения функционирования принципов на предприятиях вводятся системы управления охраной труда [3], которые устанавливают политику и цели в области ОТ и ряд процедур, которые характеризуют все области обеспечения безопасности на рабочих местах, а именно:

- процедуру подготовки работников по охране труда;
- процедуру организации и проведения СОУТ;
- процедуру управления профессиональными рисками (ПР);
- процедуру организации и проведения мониторинга за состоянием здоровья работников;
- процедуру информирования работников об условиях труда на их рабочих местах, уровнях ПР, а также о предоставляемых им гарантиях, полагающихся компенсациях;
- процедуру обеспечения оптимальных режимов труда и отдыха работников;
- процедуру обеспечения работников средствами защиты, смывающими и обезвреживающими средствами;
- процедуру обеспечения работников молоком и другими продуктами;

– процедуры обеспечения безопасного выполнения подрядных работ и снабжения безопасной продукцией [107].

На сегодняшний день уровень безопасности на рабочем месте оценивается исходя из результатов специальной оценки условий труда и оценки рисков, то есть исходя из опасностей, идентифицированных на рабочих местах [96]. Другие процедуры направлены на предупреждение и защиту от оказываемого воздействия, а также на обеспечение осведомленности и обученности персонала в вопросах ОТ.

В рамках российского законодательства оценка рисков в горной отрасли регулируется Федеральными нормами и правилами (ФНП), государственными стандартами (ГОСТ), а также положениями о промышленной безопасности.

Оценка рисков на рабочих местах проводится в соответствии с утвержденными методиками, согласно Приказу Минтруда России №926 [94]. Методы анализа и оценки рисков регламентированы ГОСТ Р 58771-2019 [34], ГОСТ Р 51901.1-2002 [33] и Системой стандартов безопасности труда (ССБТ) [29-31]. Основные методы можно разделить на три группы: качественные, количественные и комбинированные [47]. Каждая группа имеет свою область применения, преимущества и недостатки и направлены на:

- анализ мнения причастных сторон и экспертов – качественные методы, направленные на выявление взглядов групп лиц на определенные вопросы и проблемы;

- идентификацию – структурированные подходы к определению риска;

- анализ источников и доминантных факторов риска – позволяет исследовать причинно-следственные взаимосвязи между факторами и последствиями в исследуемой ситуации для разработки стратегий предотвращения неблагоприятных последствий или повышения положительных результатов;

- анализ средств контроля – используется для проверки правильности и адекватности контроля причин возникновения риска;

- оценку последствий, вероятности и риска – направлены на обеспечение полного понимания последствий и их вероятности реализации и может применяться

для оценки значимости риска при сравнении уровня с критерием приемлемости или ранжировании;

- анализ зависимостей и взаимодействий – направлен на оценку изменений в вероятности возникновения определенного набора событий, связанных с фактическим появлением одного из них;

- выбор между вариантами – используются для принятия решений и позволяют выбирать между вариантами, которые связаны с несколькими рисками;

- оценку значимости риска – используется в процессе, включающем определение того, как снижать риск [33].

Оценка действий человека в системе «человек – техническая система» выполняется согласно методу оценки рисков на основе человеческого фактора (Human Reliability Assessment, HRA) – это количественная методология, направленная на оценку вероятности ошибок персонала с учетом психофизиологических и когнитивных аспектов человеческого фактора. Применение методики регламентируется ГОСТ Р МЭК 62508-2014, в котором описаны качественная и количественная оценки влияния действий персонала на работу анализируемой системы [36]. Однако метод ограничивается оценкой деятельности работников в системе «человек – техническая система» и не учитывает внешние факторы, определяющие действия персонала.

Низкий уровень травматизма в развитых странах обусловлен активной политикой по реализации методов и средств обеспечения высокого уровня культуры безопасности труда на предприятии. Международные стандарты ISO предъявляют высокие требования к интеграции систем управления рисками в бизнес-процессы организаций. Эти стандарты направлены на повышение эффективности управления рисками и обеспечение устойчивого развития предприятий.

Зарубежные методики отличаются большей стандартизацией, использованием сложных математических моделей и акцентом на технологические решения. Ключевой тренд – переход от реактивного учета к предиктивной аналитике, что особенно актуально для высоко рискованных отраслей, таких как

горнодобывающая промышленность. Стандарты ISO 45001 [35] являются интегральной частью бизнес-процессов, обеспечивая высокий уровень соответствия нормативным требованиям. Для России важно адаптировать международный опыт, усиливая нормативную базу и внедряя цифровые инструменты, которые на данном этапе носят фрагментарный характер, что снижает общую эффективность управления рисками.

Современные концепции организации культуры безопасности труда и оценки человеческого фактора базируются на интеграции системного подхода и психолого-поведенческого анализа, что позволяет минимизировать риски за счет управления как организационными, так и индивидуальными факторами:

А) Модель зрелости культуры безопасности Патрика Хадсона предполагает эволюцию от реактивной стадии до проактивной [56, 137, 158], где безопасность становится ядром корпоративных ценностей. Ключевые индикаторы включают лидерство, вовлеченность сотрудников и открытость коммуникации.

Б) Концепция «Цифровой тени коллектива» использует анализ личностных профилей работников для прогнозирования рисков. Алгоритмы оценивают сочетание качеств (склонность к риску, устойчивость к давлению) и формируют рекомендации по распределению персонала. Например, сотрудники с низкой «нетерпимостью к нарушениям» направляются под контроль лидеров с высокими компетенциями безопасности [1].

В) Оценка человеческого фактора может проводиться с применением методик HALP (Human Aspect in Labor Protection) от SRG-ECO и профессиональных личностных опросников (Detech Group). Методология HALP включает онлайн-тестирование по 20 и более вопросам в целях оценки поведенческих тенденций (склонность к риску, социальная ответственность) и типов неконструктивной позиции (инфантильность, халатность). Интегральная оценка выявляет риски даже при внешне благополучных показателях. Например, в ситуациях, когда сочетание низкой тревожности и высокого оптимизма коррелирует с нарушением инструкций в критических ситуациях.

Профессиональные личностные опросники оценивают 32 качества, значимых для безопасности, включая шкалу социальной желательности должностей. Результаты интерпретируются в баллах от 1 до 10, где 10 – максимальная выраженность компетенции. Например, низкие показатели «понимания инструкций» повышают риск ошибочных действий из-за когнитивных искажений.

Г) Анализ причинно-следственных связей Root Cause Analysis (RCA) – это систематический подход к выявлению корневых причин инцидентов, аварий и травм [128]. Метод направлен на устранение поверхностных факторов, фокусируется на системных проблемах, которые могут способствовать повторным происшествиям.

Д) Система поведенческого аудита (Behavior-Based Safety, BBS) – это методология, основанная на систематическом наблюдении за поведением работников с целью выявления и коррекции опасных действий и нарушений [20, 22, 113].

Е) Когнитивное моделирование (Cognitive Task Analysis, CTA) – это методология, направленная на анализ мыслительных процессов работников при выполнении задач и принятии решений.

За рубежом активно применяются передовые технологии, такие как искусственный интеллект, для реализации предиктивной аналитики и мониторинга условий труда. В России доминируют традиционные программные решения, что существенно ограничивает возможности для оперативного анализа и принятия управленческих решений.

В Италии и Германии законодательно закреплены требования по оценке уровня стресса и проведению медицинского мониторинга работников, что способствует раннему выявлению утомления и других процессов в целях предотвращения травмирования работников. В России данные меры носят рекомендательный характер, что снижает их эффективность и актуализирует необходимость законодательного закрепления.

Анализ ключевых различий в методологиях, законодательных нормах, технологических подходах и профилактических мерах позволяет выявить существенные различия в управлении профессиональными рисками на международном и российском уровнях. Эти различия требуют тщательного анализа и разработки комплексных мер для повышения эффективности управления рисками в условиях глобальной экономики.

Оценка профессиональных рисков является ключевым этапом в системе управления охраной труда, направленным на выявление и минимизацию опасностей, способных привести к несчастным случаям [3, 6, 8]. Следует отметить, что анализ коэффициентов травматизма, основанный на статистических данных о произошедших инцидентах, не позволяет прогнозировать вероятность будущих событий и, следовательно, не обеспечивает возможности проактивного воздействия для снижения риска травматизма при выполнении трудовых обязанностей [9, 18, 43].

Несмотря на наличие различных методологических подходов к оценке травматизма, остается актуальным вопрос разработки и внедрения более эффективных инструментов для прогнозирования и управления профессиональными рисками.

В сфере управления безопасностью и охраной труда интеграция поведенческих методов (BBS), глубокого анализа причин инцидентов (RCA) и статистического анализа демонстрирует высокую эффективность. Такой комплексный подход позволяет не только выявлять и устранять причины инцидентов, но и формировать культуру безопасности среди работников, что является ключевым фактором в обеспечении устойчивого снижения уровня травматизма. Примером успешного применения данной методологии является опыт Австралии, где комплексный подход к анализу и профилактике инцидентов привел к снижению уровня травматизма в десятки раз.

При разработке стратегий обеспечения безопасности в развивающихся странах, необходимо учитывать культурные и социальные особенности, поэтому ключевым фактором является усиление мотивации работников к соблюдению

правил безопасности. Это может быть достигнуто через образовательные программы, тренинги и внедрение систем поощрения за безопасное поведение.

2.4 Оценка реализации событий при развитии травмоопасных ситуаций

Травмирование работника представляет собой уникальный пример сложной взаимосвязи между стохастическими (случайными) процессами и эпистемической ограниченностью (неопределенностью). В данном контексте случайность, характеризующаяся вероятностным распределением событий, и неопределенность, обусловленная неполнотой или неточностью знаний, образуют синергетическую систему, в которой каждый элемент влияет на другой, создавая условия для возникновения травмоопасных событий.

Неопределенность – это незнание, недостаток информации или неспособность обработать все существующие данные. Она возникает из-за неполноты моделей реальности. Неопределенность лежит в основе теории об оценке и управлении рисками. При травмировании персонала неопределенность может проявляться в таких характеристиках, как:

- неполнота знаний о рисках (работник или руководитель могут не знать о скрытой опасности);
- невозможность одновременно отслеживать все параметры с высокой достоверностью (концентрация газа в воздухе, психофизиологическое состояние работника, положение каждого инструмента – множество параметров характеризуются неопределенностью в условиях ограниченности информации);
- сложность человеческого поведения (невозможно точно определить, нарушит ли инструкцию работник в пользу производительности или неправильно истолкует сигнал коллеги);
- ненадежность моделей (проведенный анализ рисков – это упрощенная модель реальности, которая может не учитывать редкие, но возможные цепочки событий).

Случайность – это внутренняя, объективная непредсказуемость события. Она существует даже при полном знании всех факторов. При травмировании персонала случайность характеризуется следующими факторами:

- точный момент времени (при ведении добычи угля или проходки выработок в опасных условиях невозможно предсказать, в какой момент времени работник может получить травму);

- «совпадение» траекторий (при травмировании персонала пересекаются несколько событий, которые имеют определенные наборы случайных характеристик);

- уникальность человеческого фактора (два высококвалифицированных работника, выполняющих одну и ту же операцию, сделают это с незначительными, но значимыми различиями в движениях, внимании и реакции. Случайность определяет, в какой именно момент эти ошибки совпадут с опасным фактором).

Таким образом, развитие травмоопасных события происходит в следующем порядке:

1. фоновая неопределенность:

- неидеальная система охраны труда (неопределенность в знаниях руководства);

- точный остаточный ресурс устаревшего оборудования и его компонентов неизвестен (неопределенность в состоянии техники);

- работник устал, но скрывает это (неопределенность в человеческом факторе);

2. накопление воздействия вредных и опасных факторов (из-за неопределенности создаются условия, где вероятность случайного события-триггера многократно повышается);

3. влияние случайного триггера, инициирующее развитие событий.

При применении риск-ориентированного подхода используются различные методы в зависимости от условий и имеющихся исходных данных, представленные на рисунке 2.1.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РИСКА	В условиях определенности	Определение количественных характеристик риска: вероятность наступления неблагоприятных событий и возможный размер ущерба
	- расчетно-аналитические	
	В условиях частичной неопределенности	Статистическая и (или) вероятностная оценка с использованием регрессионного анализа, элементов теории графов и имитационного моделирования
	- статистические - вероятностные	
	В условиях неопределенности	Экспертная оценка с использованием матричных моделей, элементов теории нечетких множеств
	- экспертные	

Рисунок 2.1 – Методы оценки риска в условиях определенности и неопределенности (составлено автором)

Расчет риска в условиях определенности затруднен невозможностью одновременно отслеживать все параметры технологических процессов, а также применением имеющихся данных для прогнозирования будущих рисков. Возможный ущерб может быть рассчитан на основе потерь и затрат при реализации аварии или НС конкретного вида, однако вероятность наступления в настоящее время определяется по статистике уже наступивших событий, согласно которым можно предположить частоту будущих, но не определить их вид, процесс развития и вероятность реализации в целом [101]. В связи с этим наибольшее применение получили методы, применимые в условиях частичной или полной неопределенности [7, 105]. Неопределенность также обуславливается недостатком достоверных данных вследствие неприменения на предприятиях эффективных методов сбора данных об опасностях и причинах их реализации [104].

При расследовании причин НС на предприятии определяются травмирующие факторы, причины травмирования персонала, а также персонал, причастный к НС. Данная статистика оценивается такими показателями, как коэффициент частоты травматизма, тяжесть последствий, и позволяет классифицировать наиболее частые места происшествий, травмоопасные части оборудования или технологического процесса, наиболее склонных к травмам работников (по полу, возрасту, стажу работы, уровню образования и т.д.). Эти данные используются для оценки рисков с частичной неопределенностью. Однако

дальнейший анализ причин сходится к полной неопределенности, так как расследование причин НС не учитывает влияние деятельности структурных подразделений, обеспечивающих основной процесс, а также причины негативного воздействия человеческого фактора.

Для описания случайных, непредсказуемых событий, не имеющих закономерности, в математике используется теория катастроф – раздел математики и теоретической физики, который предоставляет формальный аппарат для описания и классификации качественных, скачкообразных изменений в поведении динамических систем в ответ на плавное изменение внешних параметров.

Основная идея теории катастроф состоит в том, что динамическая система (в данном исследовании «человек – техническая система – производственная среда») зависит от изменения параметров, которые можно разделить на внутренние и внешние. Предполагается, что между параметрами имеется зависимость, однако значения внутренних параметров не определяются однозначно значениями внешних.

Рассмотрим модель развития травмоопасных событий, в которой:

- внутренний параметр: риск травмирования персонала;
- внешние параметры: вероятность ошибочных действий персонала и объем добычи угля (производительность).

Выбор внешних параметров обусловлен рассмотрением двух основных составляющих технологического процесса в системе «человек – техническая система – производственная среда». Объем добычи характеризует цель ведения технологического процесса и определяют ряд параметров среды, которым должен следовать изучаемый процесс. Ошибочные действия характеризуют негативное влияние персонала на технологический процесс, в результате которого могут возникать аварии, инциденты и НС.

При оценке влияния объемов добычи на риск травмирования работников были рассмотрены технико-экономические показатели шахт в тысячах тонн добытого угля и риск травмирования, определяемый, как отношение числа травм к

числу работников, подверженных данному виду риска. Полученная зависимость представлена на рисунке 2.2.

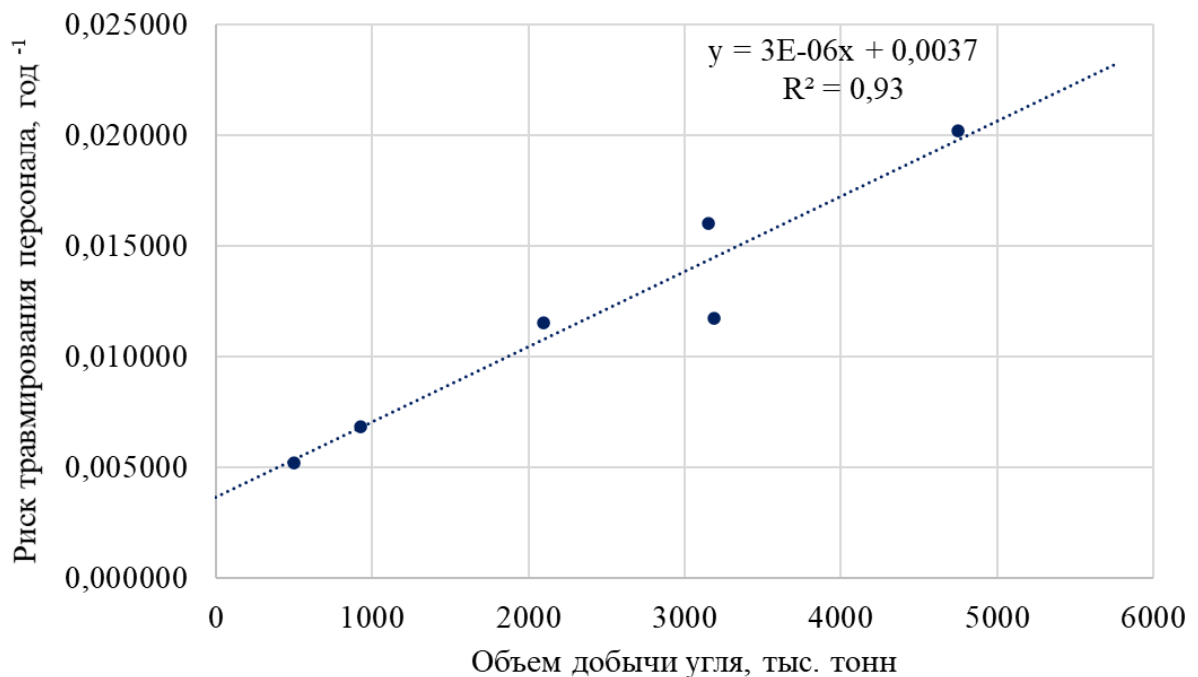


Рисунок 2.2 – Зависимость риска травмирования персонала от объема добычи угля (составлено автором)

Согласно графику 2.2, получена линейная зависимость, для которой коэффициент детерминации составляет 0,93. Следовательно, доля дисперсии риска производственного травматизма рассматриваемой модели зависит от производительности более чем на 93 %.

Анализ условий труда на угледобывающих предприятиях России и статистической информации о травматизме и результатах расследования несчастных случаев позволили выявить систематическое превышение среднего уровня травматизма работников вследствие воздействия человеческого фактора на различных уровнях предприятия [25, 55]. Человеческий фактор играет ключевую роль в возникновении травмирующих событий, во многом определяя их динамику и последствия [48, 53]. Для углубленного понимания данного феномена и разработки эффективных мер по минимизации негативных последствий необходимо систематизировать их на основе многоуровневой модели принятия решений. Для создания такого метода предлагается анализировать влияние людей на всех уровнях работы компании и учитывать самые уязвимые аспекты этого влияния.

В результате анализа более 300 случаев травмирования работников за 2013-2023 года были рассчитаны вероятности реализации травмоопасных событий в зависимости от причин травм и различных условий [13].

Определена средняя частота реализации ошибочных действий персонала по формуле 2.1:

$$ПР = P/N, \quad (2.1)$$

где ПР – частота реализации ошибочных действий различных групп персонала;

P – число ошибок рассматриваемой группы персонала, ед.

N – число травмированных за рассмотренный временной период, год.

Рассмотрено 3 выборки частот ошибочных действий:

- ошибки со стороны горнорабочего – 0,5;
- ошибки со стороны ИТР – 0,9;
- ошибки при организации всего процесса – 0,3.

При нарушениях на всех уровнях принятия решений, происходят постоянные отклонения от требуемых правил безопасности и оптимальных режимов работы, что приводит к травме с вероятностью 0,9. При ошибочных действиях персонала одного уровня управления технологическим процессом травма происходит с вероятностью 0,2. При ошибках персонала на двух уровнях вероятность реализации опасного события существенно возрастает и может составлять 0,75.

Рассмотрим три гипотезы:

Γ_1 – нарушения на одном уровне привели к травме,

Γ_2 – нарушения на двух уровнях привели к травме,

Γ_3 – нарушения на всех уровнях привели к травме.

Пользуясь теоремами сложения и умножения, найдем вероятности этих гипотез:

$$P(\Gamma_1) = 0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,7 + 0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,3 + 0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,7 = 0,365;$$

$$P(\Gamma_2) = 0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,7 + 0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,3 + 0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,7 = 0,645;$$

$$P(\Gamma_3) = 0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,3 = 0,135.$$

Условные вероятности события А (травмирование работника) при этих гипотезах равны:

$$P(A | \Gamma_1) = 0,2;$$

$$P(A | \Gamma_2) = 0,75;$$

$$P(A | \Gamma_3) = 0,9;$$

Так, применяя законы сложения и умножения вероятностей, получим, что вероятность ошибочных действий персонала будет определяться согласно зависимости:

$$\begin{aligned} P(A) &= P(\Gamma_1) \cdot P(A | \Gamma_1) + P(\Gamma_2) \cdot P(A | \Gamma_2) + P(\Gamma_3) \cdot P(A | \Gamma_3) = \\ &= 0,365 \cdot 0,2 + 0,645 \cdot 0,75 + 0,135 \cdot 0,9 = 0,678. \end{aligned}$$

Значения вероятности ошибочных действий и риска травмирания персонала по шахтам приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Расчетные вероятности для анализируемых шахт

Предприятие	Шахта «Им. В.Д. Ялевского»	Шахта «Талдинская-Западная-1»	Шахта «Талдинская-Западная-2»
P (A)	0,870	0,398	0,278
Предприятие	Шахта «Им. С.М. Кирова»	Шахта «Комсомолец»	Шахта «Им. А.Д. Рубана»
P (A)	0,731	0,583	0,712

Получена экспоненциальная зависимость, для которой коэффициент детерминации составляет 0,88. Доля дисперсии риска производственного травматизма рассматриваемой модели зависит от вероятности ошибочных действий более чем на 88 %, что представлено на рисунке 2.3.

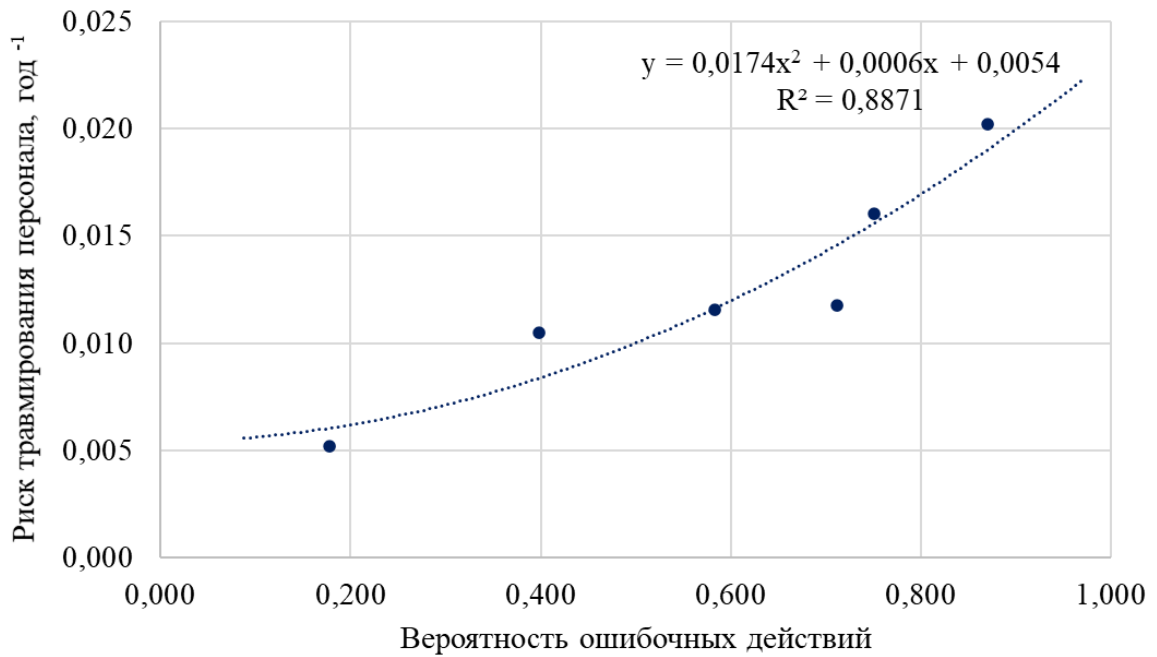


Рисунок 2.3 – Зависимость риска травмирования персонала от вероятности ошибочных действий персонала (составлено автором)

Применение теории катастроф для описания зависимостей между тремя переменными позволит графически обосновать зависимость между риском, вероятностью ошибочных действий и объемом добычи угольных шахт. В то же время риск травмирования персонала имеет прямую зависимость от объема добычи полезных ископаемых, однако ошибочные действия персонала при одинаковых значениях имеют вероятность значительного увеличения риска, что может быть отображено на функции типа «складка». Схематично зависимость риска травмирования персонала (R) от вероятности ошибочных действий (P) можно представить в виде двухмерного графика R-P при постоянном значении производительности (Π) (рисунок 2.4).

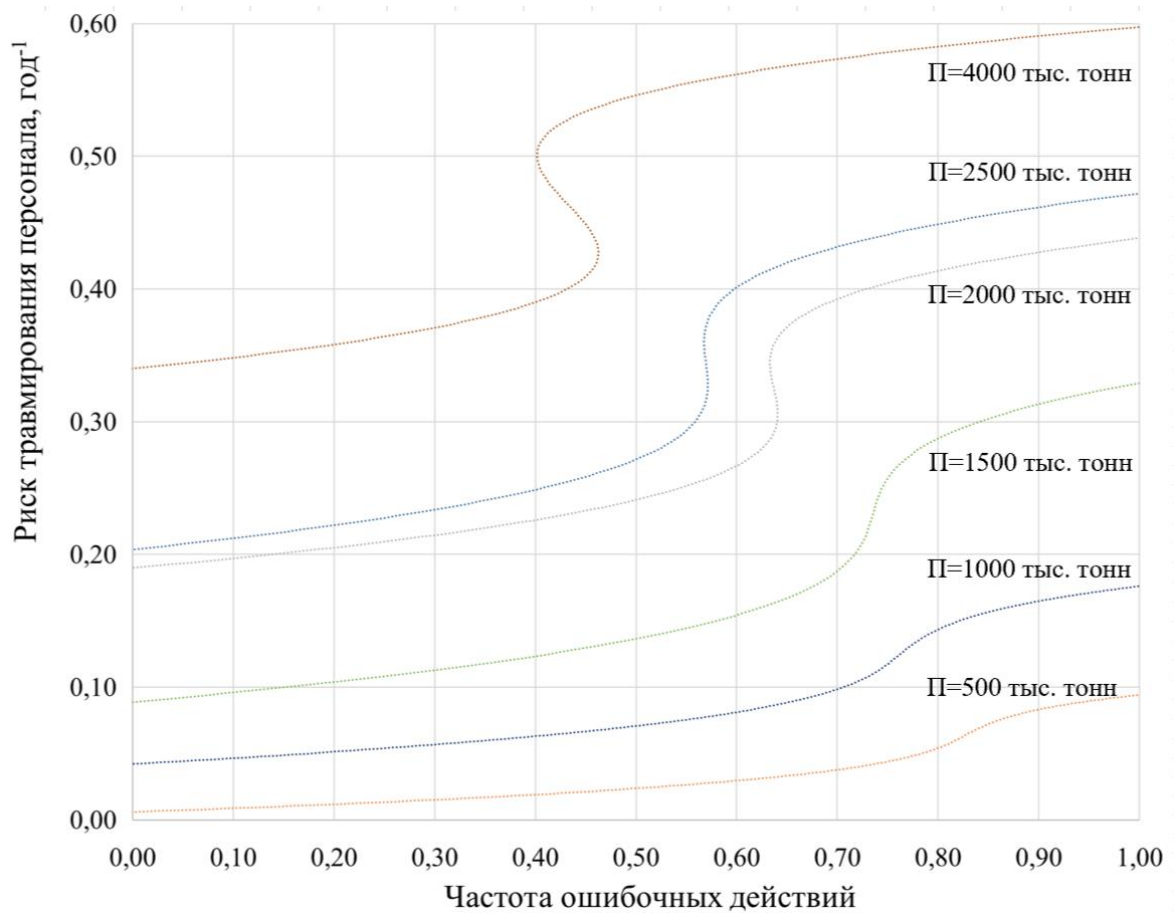


Рисунок 2.4 – Зависимость риска травмирования персонала (R) от вероятности ошибочных действий (P) и производительности технологического процесса (П)
(составлено автором)

Согласно рисунку 2.4, необходимо рассматривать несколько условий:

- $P_{\text{факт}} < P_0$ – риск травмирования персонала плавно возрастает при увеличении вероятности ошибочных действий персонала;
- $P_{\text{факт}} = P_0$ – R является непрерывной, но не дифференцируемой функцией от P;
- $P_{\text{факт}} > P_0$ – есть область значений вероятности человеческих ошибок (P), которые соответствуют нескольким значениям риска, что характеризует область неопределённости, то есть при превышении P_0 и увеличении P существует вероятность резкого возрастания риска реализации травмоопасных событий в зависимости от уровня значимости ошибочных действий.

Ключевое различие в управлении рисками заключается в том, что со случайностью борются путем уменьшения вероятности её наступления. Хотя

устранить случайность полностью невозможно, можно значительно снизить вероятность неблагоприятных событий. Для этого используются такие методы, как дублирование систем, повышение их надежности или установка физических барьеров.

Неопределенность, в свою очередь, устраняется путем получения дополнительной информации и повышения предсказуемости процессов. Это достигается через обучение персонала, проведение инспекций, мониторинг состояния оборудования и работников, разработку четких процедур, анализ инцидентов, когда травмы едва удалось избежать, а также развитие культуры безопасности.

2.5 Выводы к главе 2

На сегодняшний день однозначного понятия «человеческий фактор» в отечественном и международном законодательстве не приводится. В зарубежных законодательных актах и исследовательских работах человеческий фактор изучается с точки зрения науки эргономики. В России влияние человека рассматривается в стандарте, который позволяет оценивать правильность действия операторов и риск их ошибок.

Однако ЧФ также получил негативное значение при рассмотрении причин аварий и несчастных случаев в различных отраслях, где первопричиной опасных событий становятся действия персонала. В диссертационном исследовании рассматриваются человеческий фактор или ошибочные действия персонала, которые приводят к травмированию работников угольных шахт.

Человеческий фактор не сводится лишь к прямым нарушениям со стороны исполнителя, а проявляется на всех уровнях предприятия: от высшего руководства, задающего приоритеты, до рядового шахтера. Ошибки исполнителей являются следствием организационных и управленческих просчетов. Основные проблемы, связанные с обеспечением безопасности на ОПО, включают:

1. Формализацию процессов управления безопасностью. Современные методы и подходы к охране труда часто применяются без должного теоретического осмысления их сути. Это приводит к механическому выполнению процедур с

целью формального соблюдения нормативных требований. Такой подход не способствует формированию культуры проактивного управления рисками и не обеспечивает достаточного уровня безопасности труда.

2. Дефицит квалифицированных кадров с качественной подготовкой в области безопасности труда. Остро стоит проблема нехватки специалистов, обладающих необходимыми компетенциями и опытом для комплексного управления рисками, выявления уязвимостей и разработки эффективных стратегий защиты. В условиях стремительного развития технологий и усложнения прогнозирования риска травм, недостаток квалифицированных кадров становится одним из ключевых факторов, препятствующих обеспечению безопасности труда.

3. Формирование культуры страха как доминирующего подхода к обеспечению безопасности. В ряде организаций преобладает парадигма управления безопасностью, основанная на запугивании и санкциях. Такой подход демотивирует сотрудников, создает атмосферу недоверия и не способствует формированию безопасной рабочей среды, основанной на принципах осознанного поведения и ответственного отношения к безопасности при выполнении работ.

4. Низкий уровень обеспечения работников необходимыми для ведения работ средствами. Проблема, связанная напрямую с руководством и организацией трудового процесса, которая возникает из-за низкой мотивации и квалификации управленческого персонала, которые не в состоянии налаживать и обеспечивать эффективную систему безопасности труда.

Разработка метода оценки профессионального риска, учитывающего влияние вероятности возникновения ошибочных действий на различных уровнях управления технологическим процессом, а также рассмотрение причин их возникновения, позволят планировать превентивные мероприятия и направлять их реализацию на ключевые проблемы обеспечения безопасности.

ГЛАВА 3 МЕТОД ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ТРАВМИРОВАНИЯ РАБОТНИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ С УЧЁТОМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

3.1 Логико-графическая модель механизмов влияния ошибочных действий персонала на реализацию горно-технологических, технических и организационных причин травматизма

В настоящее время расследование причин травмирования персонала строится на поиске виновного работника. Однако реализация травмоопасного воздействия складывается по цепочке «причины ошибок – ошибки персонала – причины развития опасных событий – опасный фактор – травма». На реализацию одного опасного фактора может влиять комплекс причин, которые, в свою очередь, зависят от деятельности персонала различных подразделений и должностей. В связи с чем необходимо рассматривать всю цепочку реализации травмоопасного события в целях определения системных сбоев в деятельности различных подразделений.

Важно проводить четкую дифференциацию между *травмирующим фактором (опасным фактором)* и *причинами*, формирующими и провоцирующими опасную ситуацию [71]. Травмирующий фактор представляет собой непосредственное механическое, химическое или иное воздействие, приводящее к телесным повреждениям. В свою очередь, причина несчастного случая трактуется как совокупность нарушений установленных стандартов, правил и инструкций, что в конечном итоге приводит к воздействию травмирующего фактора. Среди основных опасных факторов, приводящих к травмированию работников, выделяют горно-геологические (ГГО) и технические опасности (ТО). Горно-геологические опасности характеризуют опасное физическое воздействие на человека со стороны горного массива, которое приводит к травмам. К техническим опасностям относится физическое воздействие технических систем: машин, механизмов, оборудования, инструментов, особенностей рабочих мест, технических проходов, проемов и т.д., – которое оказывает непосредственное

травмирующее воздействие. При этом сам источник травмы становится опасным фактором, а череда событий, приводящих к его воздействию – *опасной ситуацией*.

На развитие опасной ситуации влияют следующие *причины*: горно-геологические (комплекс действий, приводящих к реализации горно-геологических опасных факторов); технические (комплекс действий, приводящих к реализации технических опасных факторов); организационные (комплекс действий, приводящих к реализации как горно-геологических, так и технических факторов); технологические (комплекс действий, приводящих к реализации горно-геологических и технических факторов при нарушении технологий производства).

Анализ статистических данных причин возникновения опасных ситуаций показал, что горно-геологические причины возникают при нарушении технологического процесса. В результате необходимо рассматривать горно-технологические причины развития опасных ситуаций.

В указанной классификации рассмотренные причины в большинстве случаев являются преобладающими для каждого из рассмотренных опасных факторов, поскольку развитие опасной ситуации чаще всего происходит при совокупном воздействии нескольких групп или при воздействии их друг на друга. Общий вид распределения опасных факторов по установленным преобладающим группам причин приведен на рисунке 3.1.

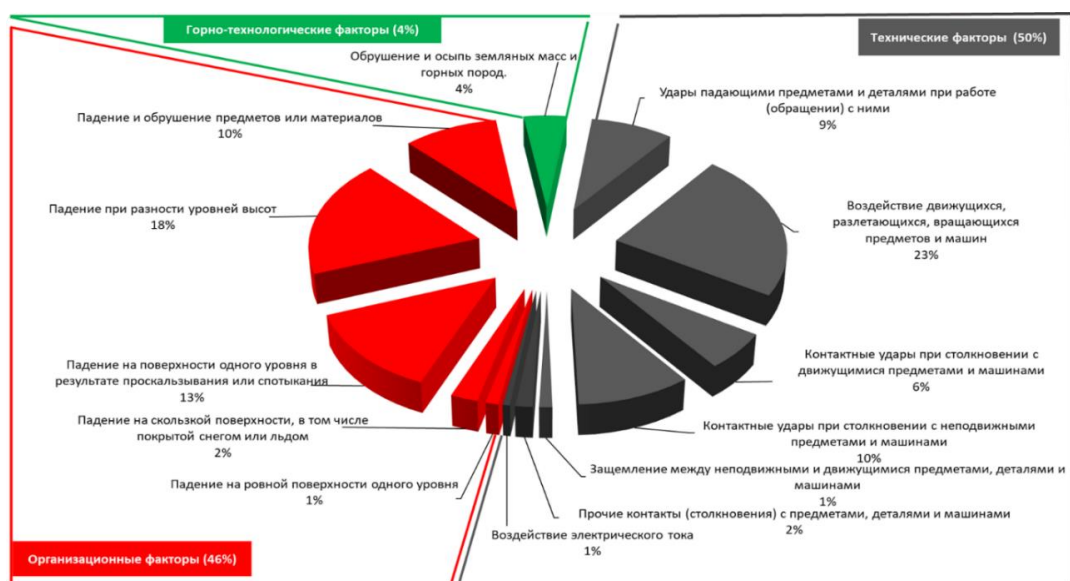


Рисунок 3.1 – Опасные факторы, приводящие к травмам (составлено автором)

Однако реализация причин травмирования персонала происходит в зависимости от частоты ошибочных действий персонала.

Горно-геологические причины характеризуют воздействие природных и геологических особенностей массива, динамические явления в котором могут привести к серьезными последствиям. Действия работников не способны повлиять на состояние горного массива, однако нарушение технологий проведения горных работ, процессов крепления горных выработок, эксплуатации и установки оборудования, а также порядка мониторинга геологических процессов, контроля концентраций пыли и вредных газов и других нормативных требований, регламентирующих организацию и обеспечение безопасности на шахте, существенно повышает вероятность реализации горно-геологических опасностей. Таким образом, технологические риски являются производными управленческих решений, порядка организации и контроля всех видов производственной деятельности и интегрируют в себе потенциальные угрозы, исходящие от различных категорий опасностей, присущих горнодобывающим предприятиям.

К основным опасным факторам, имеющим горно-технологическое происхождение относятся: выбросы, выдавливание пород, обрушение пород, земли при увеличении горного давления (ГО1); выбросы вредных и опасных газов под давлением (ГО2); прорывы воды или пульпы, затопление выработок (ГО3); эндогенные и экзогенные пожары (ГО4); взрывы метана и пылевоздушной смеси при увеличении концентрации газов за счет высвобождения и выбросов из массива (ГО5); вывалы пород при горном ударе (ГО6).

Современный уровень технологического прогресса в состоянии предупредить развитие опасных событий, однако нарушения со стороны персонала становятся ключевым фактором к возможности их реализации. К причинам реализации горно-технологического опасного воздействия относятся: несвоевременный мониторинг выделений метана (ГП1); несвоевременный мониторинг динамических и сейсмических явлений (ГП2); несвоевременный контроль водопритока (ГП3); нарушение технологии крепления и обнажения пород (ГП4); нарушение правил мониторинга и предупреждения самовозгорания

угля и угольной пыли (ГП5). Воздействие частоты нарушений при организации работ по мониторингу горно-геологических явлений на риск травмирования работников представлено на рисунке 3.2.

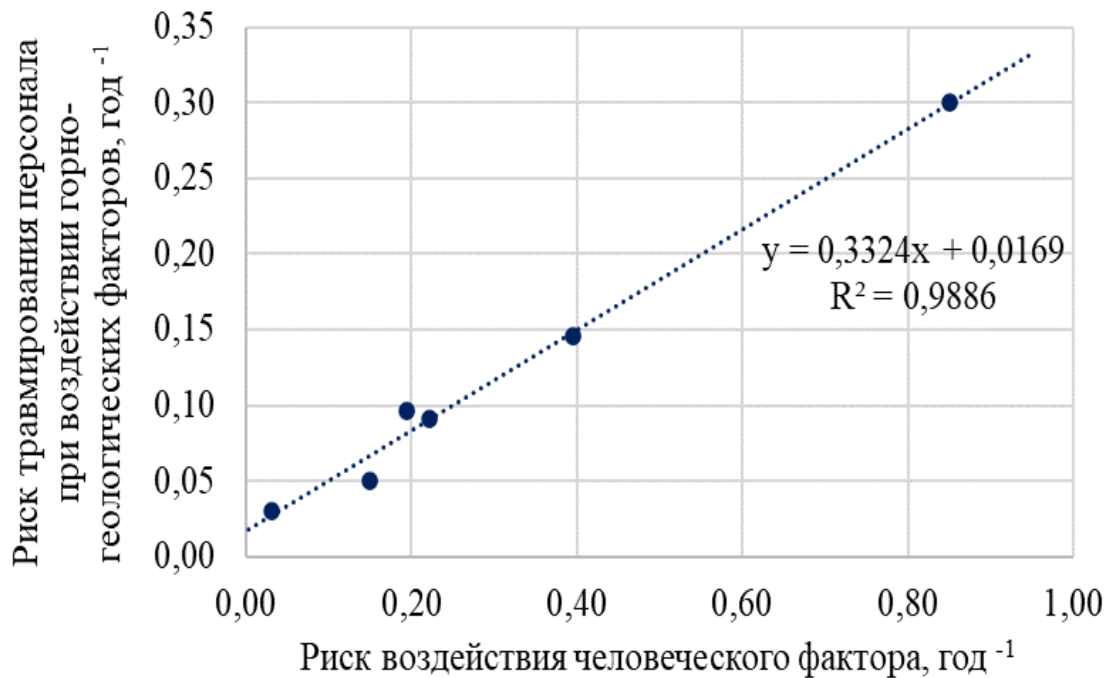


Рисунок 3.2 – Зависимость риска травмирования работников от вероятности ошибочных действий при организации работ по мониторингу горно-геологических явлений (составлено автором)

В результате анализа горно-геологических опасностей и причин травмирования было установлено, что при воздействии человеческого фактора, связанного с нарушением требований безопасности и правил и инструкций по ведению работ, риск травмирования в результате проявления негативного воздействия горно-геологических условий возрастает по функции с коэффициентом детерминации 0,99, что свидетельствует о том, что доля дисперсии риска производственного травматизма рассматриваемой модели зависит от вероятности ошибочных действий исследуемых групп персонала более чем на 99 %.

В случае с техническими опасностями было рассмотрено воздействие человека на надежность машин, механизмов и оборудования, которое может быть обусловлено ошибками при проектировании и производстве или ошибками при эксплуатации и ремонте. В работе проведен анализ влияния ошибок персонала при

эксплуатации и ремонте машин и оборудования, которые используются на предприятии. Однако на стабильность и исправность работы технических систем также оказывает влияние надежность, заложенная при производстве оборудования, которая учитывает конструктивные недостатки, брак и воздействие человека на этапе производства.

К опасным факторам, формируемым техническими системами, относятся: падение деталей машин, оборудования, инструментов и материалов (ТО1); падение пострадавшего на одном уровне или при разности высот (ТО2); удары разлетающимися частями оборудования или деталями (ТО3); удары воздухом и веществами под давлением (ТО4); заземления машинами и предметами (ТО5); затягивание и наматывание (ТО6).

Вопросы, связанные с обустройством рабочих площадок, напрямую зависят от качества работы обеспечивающего персонала, которые также проводят своевременный ремонт и наладку оборудования. Влияние частоты нарушений при организации и обеспечении технологического процесса на риск травмирования работников представлено на рисунке 3.3.

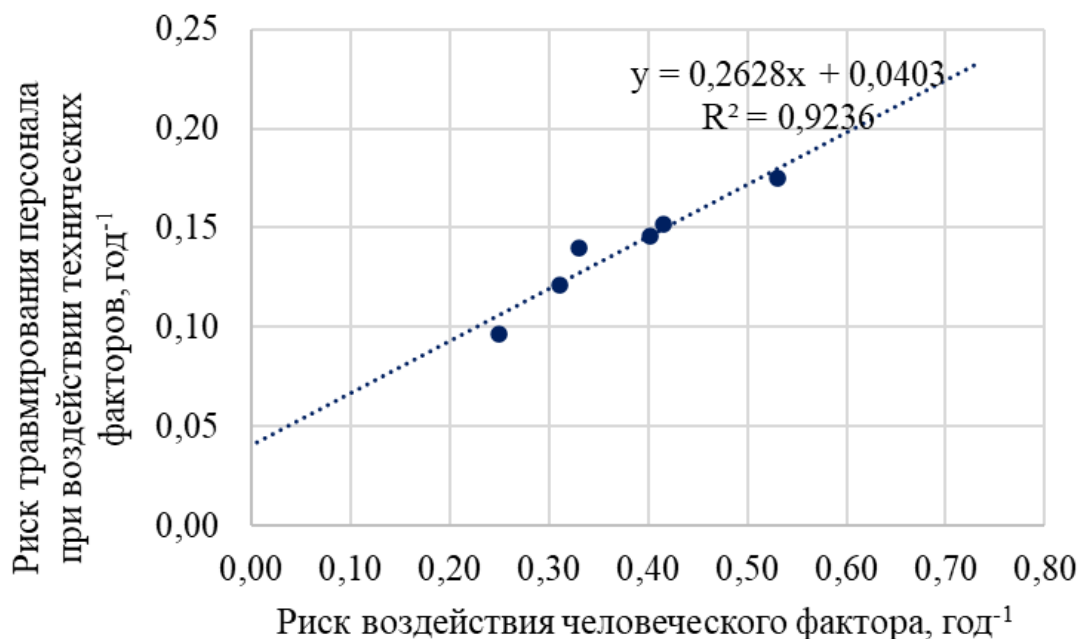


Рисунок 3.3 – Зависимость риска травмирования работников от вероятности ошибочных действий при обеспечении технических средств и оборудования
(составлено автором)

Технические причины возникают при нарушениях и ошибках персонала, обеспечивающего наладку и ремонт оборудования, обустройство проходов и проездов в выработках. В результате персонал основного технологического процесса можно классифицировать, если работники: эксплуатируют неисправные механизмы и оборудование (ТП1); используют машины, механизмы, оборудование и предметы труда с конструктивными недостатками (ТП2); вынужденно нарушают технологический процесс из-за недостатков оборудования (ТП3); используют оборудование и инструмент, несоответствующие реализуемому технологическому процессу (ТП4); перемещаются к месту работы и обратно, выполняют работу в местах, имеющих неудовлетворительное техническое состояние территорий, проходов, проездов (ТП5).

Анализ представленных на рисунке 3.3 результатов показывает, что доля дисперсии риска травмирования персонала рассматриваемой модели зависит от вероятности ошибочных действий исследуемых групп персонала более чем на 92 %.

Анализ организационных причин показал, что в 100% случаев недостатки в организации работ зависят от человеческого фактора, реализуемого в различных подразделениях предприятия [79]. Организационные причины можно разделить на три основные группы:

- 1) квалификация персонала: отсутствие обучения работников безопасным приемам работ, необходимых лицензий и удостоверений при выполнении видов работ, требующих аттестации (ОП1); неприменение/неправильное применение средств защиты (ОП2); недостаточное обучение работников менеджменту безопасности, непроведение инструктажей (ОП3); выполнение работ не по специальности или в опасных условиях по указанию руководства, нарушения по указанию руководства (ОП4); использование неверных и небезопасных приемов выполнения работ (ОП5); нарушение должностных инструкций при выполнении работ (ОП6);

2) неудовлетворительное содержание и недостатки в организации рабочих мест, отсутствие предупредительных знаков, ограждений, систем оповещения и сигнализации и других средств коллективной защиты (ОП7);

3) недостаточное обеспечение работников, неприменение средств труда, замена нерегламентированными средствами труда (ОП8).

В результате все организационные причины связаны с действиями подразделений и их инженерно-технического персонала, которые обеспечивают обучение и проверку знаний работников, оснащение выработок и рабочих площадок необходимыми средствами защиты, а также оснащение работников необходимыми средствами труда. При этом политика руководства определяет мотивацию и стремление персонала к обеспечению безопасного ведения работ, а также результативность и эффективность технологического процесса. Таким образом, риск травмирования персонала имеет прямую корреляцию с частотой ошибок при организации работ (рисунок 3.4).

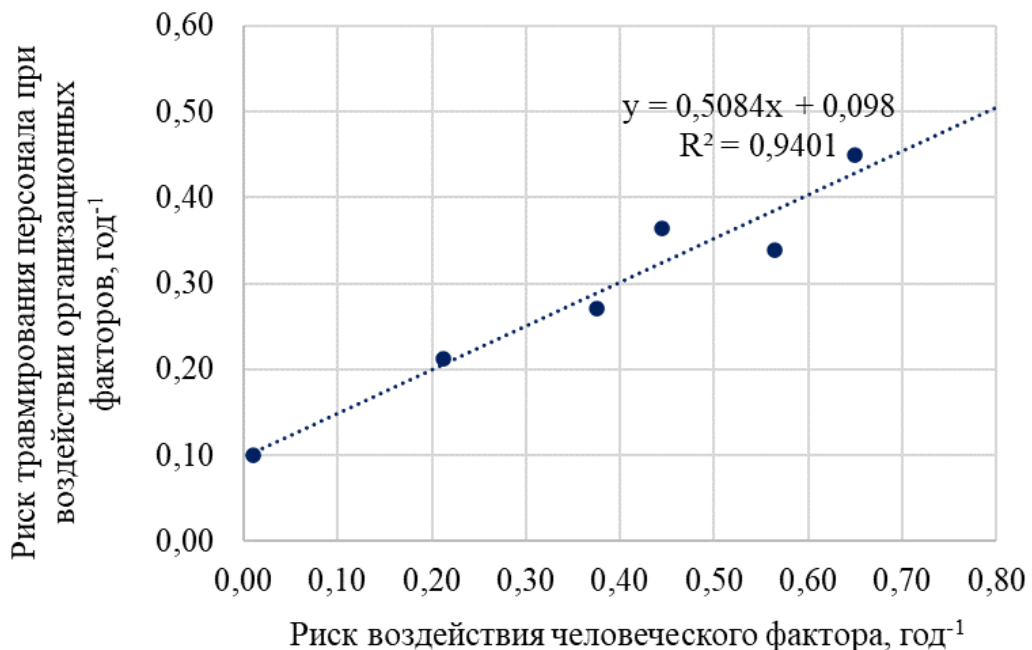


Рисунок 3.4 – Зависимость риска травмирования работников от частоты ошибок при организации работ (составлено автором)

Проведенный анализ выявил значительные недостатки в системе оценки, контроля и учета влияния человеческого фактора на производственные процессы в угольной промышленности. Существующие методы и подходы к управлению

рисками не обеспечивают должного уровня безопасности труда, что подтверждается высоким уровнем травматизма.

Ключевым фактором, препятствующим разработке эффективных мер по повышению безопасности, является отсутствие научно обоснованного и методологически выверенного подхода к анализу влияния человеческого фактора на вероятность и тяжесть травм. Это ограничивает возможности для целенаправленного и системного воздействия на риски, связанные с человеческим поведением и ошибками.

Графическая визуализация анализируемой структуры позволяет наглядно представить причинно-следственные связи, что является фундаментальным элементом логико-графических методов анализа рисков. Среди таких методов наиболее широко используются:

- Дерево событий (Event Tree Analysis, ETA);
- Дерево отказов (Fault Tree Analysis, FTA);
- Диаграмма Исикавы (Cause-and-Effect Diagram);
- Метод анализа рисков «галстук-бабочка» (Bow-tie Analysis).

Эти методологические инструменты позволяют структурировать и систематизировать информацию о возможных причинах и последствиях травмоопасных событий. Они предоставляют возможность: схематично представить последовательность событий, приводящих к травматизму; выявить критические точки и уязвимости в системе безопасности; оценить вероятность реализации различных сценариев и их потенциальные последствия; разработать превентивные меры и стратегии минимизации рисков (рисунок 3.5).

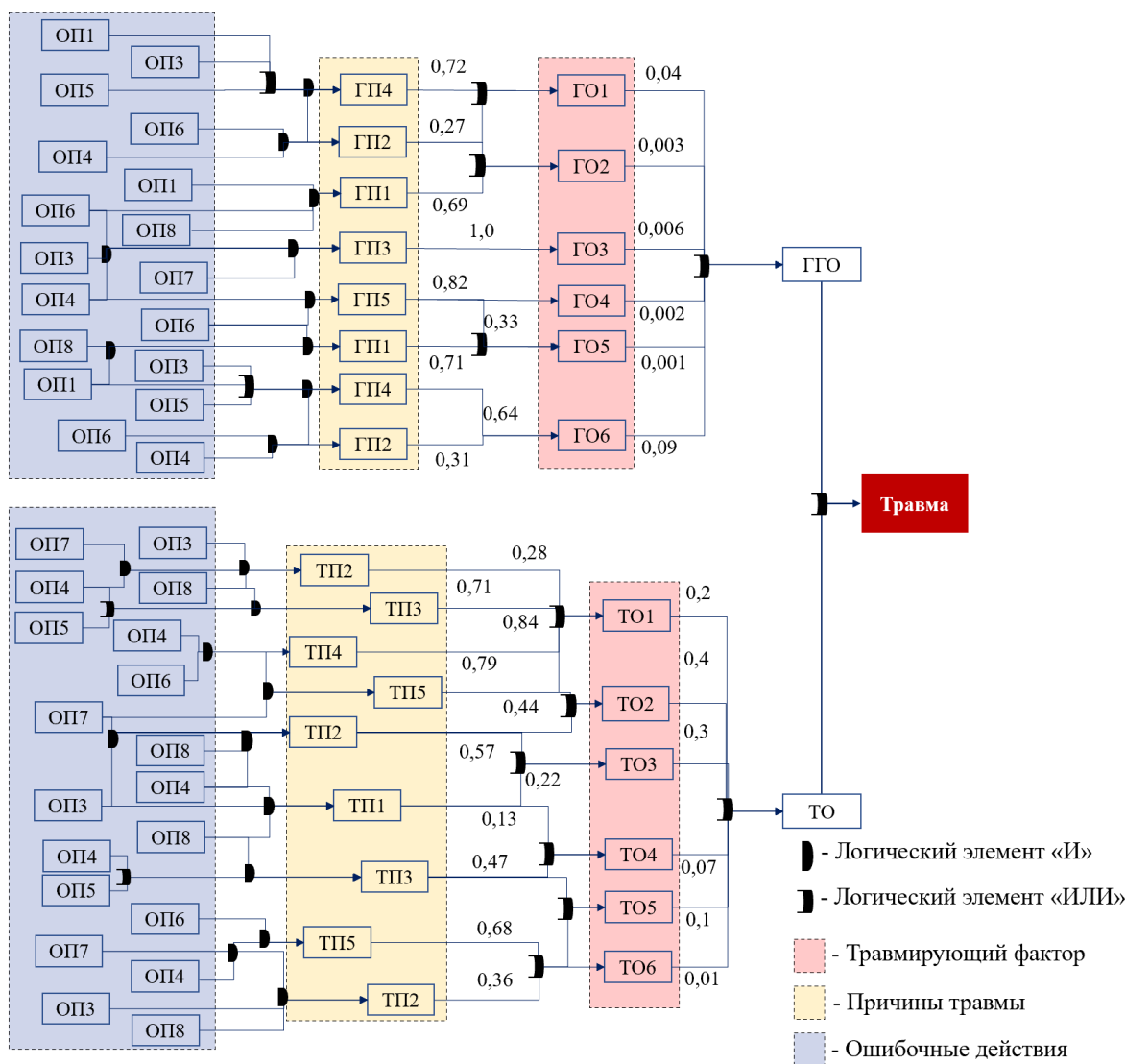


Рисунок 3.5 – Графическая схема причинно-следственных связей травмоопасных ситуаций (составлено автором)

Таким образом, применение логико-графических методов анализа является важным элементом комплексного подхода к управлению рисками в угольной промышленности. Однако для достижения максимальной эффективности необходимо разработать и внедрить научно обоснованный метод анализа влияния человеческого фактора, который будет интегрирован в общую систему управления безопасностью труда.

3.2 Методологический подход к оценке причин ошибочных действий

В системе «человек – техническая система – производственная среда» действия работников оказывают влияние не только при взаимодействии внутри системы, но и извне. В иерархической структуре предприятия действия работников

вливают как на каждую составляющую системы отдельно, так и на всю систему в совокупности. Подробный анализ выявил необходимость классификации человеческого фактора по уровню выполняемых задач. В результате были установлены 3 уровня воздействия человеческого фактора: действия исполнителя, действия инженерно-технических работников (ИТР) и действия руководства [68]. Классификация причин и последствий реализации человеческого фактора представлена на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Классификация причинно-следственных связей реализации человеческого фактора в системе предприятия (составлено автором)

В контексте многоуровневой структуры принятия решений, человеческий фактор представляет собой сложную систему взаимодействий, которая может быть разделена на три ключевых компонента [135]:

1) *Действия исполнителей работ.* Этот аспект фокусируется на когнитивных, психологических и поведенческих характеристиках отдельного индивида в контексте выполнения профессиональных обязанностей и включает анализ действий и ошибок, совершаемых конкретным сотрудником, а также изучение влияния личностных особенностей на принятие решений и выполнение задач в условиях профессиональной деятельности.

2) *Действия инженерно-технических работников (ИТР)*. Этот показатель охватывает обеспечение работников и технологического процесса материалами, средствами труда и безопасности, подготовки работников и проверке всех необходимых знаний и навыков, своевременного мониторинга установленных вредных и опасных факторов, а также создание безопасной рабочей среды, минимизацию рисков и обеспечению соответствия нормативным требованиям.

3) *Действия руководства*. Этот элемент отражает роль руководства в формировании и поддержании культуры безопасности в организации, включает принятие стратегических решений в области управления безопасностью, формулирование и реализацию целей и задач, направленных на повышение уровня безопасности.

В результате было установлено, что доля воздействия персонала на каждом уровне меняется в зависимости от тяжести воздействия (рисунок 3.7).

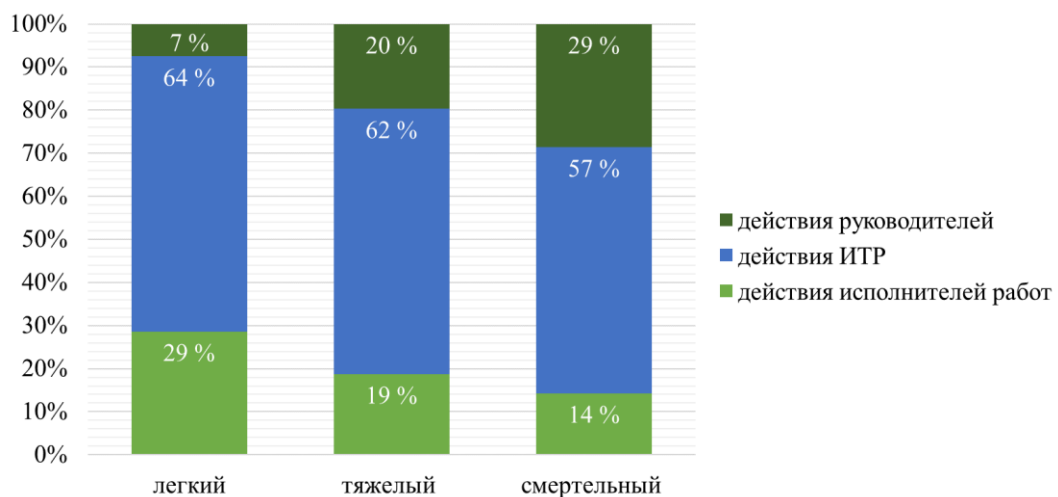


Рисунок 3.7 – Доля влияния персонала различных уровней производства на тяжесть травматизма (составлено автором)

Согласно данным, представленным на рисунке 3.7, установлено, что чем выше тяжесть травм, тем меньше роль рабочих и выше роль руководителей и специалистов. Однако травмирование работников в 60 % случаев определяется действиями инженерно-технических работников (ИТР) предприятия [135]. Недобросовестное выполнение работ в разных структурных подразделениях приводит к увеличению риска травмирования работников основного технологического процесса, что отражает проблему руководства системой в целом.

Установлено, что значимость деятельности ИТР составляет от 85 до 92 %, в то время как для исполнителей процесса может достигать 50 % при уменьшении тяжести последствий. При этом действия руководства при значениях, аналогичных исполнителям, будут иметь наиболее серьезные последствия для предприятия в целом.

Детальный анализ механизмов возникновения горно-технологических, технических и организационных факторов позволил установить, что все выявленные причины травматизма обусловлены действиями персонала. В связи с чем дальнейшее изучение проблемы было направлено на изучение действий исполнительного, инженерно-технического и управленческого персонала. Анализ частоты воздействия причин показал, что наибольшую частоту имеют нарушения ИТР, в то время как минимальное значение относится к нарушениям руководства (таблица 3.1)

Таблица 3.1 – Частота ошибочных действий персонала шахт среди горно-технологических, технических и организационных причин (составлено автором)

Виды причин	Частота ошибок горнорабочих	Частота ошибок ИТР и руководства
Горно-технологические причины	0,349	0,651
Технические причины	0,299	0,568
Организационные причины	0,153	0,847

Современные системы безопасности, применяемые на предприятиях, не позволяют собирать и анализировать данные о причинах ошибок персонала. Таким образом, классическая статистика бессильна против «коренных причин», которые носят латентный (скрытый) характер и не фиксируются в стандартных отчетах.

Для решения этой проблемы можно использовать комбинированный метод, который объединяет в себе строгость экспертных оценок и наглядность аналитической иерархии. Наиболее подходящим и эффективным методом в данном случае является метод анализа иерархий (Analytic Hierarchy Process - АНР) Томаса Саати [100].

Метод АНР учитывает следующие недостатки других экспертных методов:

1. Простые экспертные опросы (анкетирование) – дают разрозненные мнения, которые сложно агрегировать и обосновать. Нет механизма проверки согласованности мнений эксперта.

2. Метод Дельфи – длительный итерационный процесс, направленный на достижение консенсуса. Он эффективен для прогнозирования, но менее приспособлен для структурирования сложной системы факторов и оценки их весов.

3. FMEA-анализ (Failure Mode and Effects Analysis) – ориентирован на оценку рисков для оборудования и процессов, а не на глубинные человеческие и организационные факторы. Ему не хватает гибкости для сравнения разнородных факторов (например, «мотивация» и «квалификация»).

В то же время АНР позволяет:

- структурировать проблему (разложить сложную задачу на иерархию более простых элементов);

- сравнивать попарно (экспертам легче сравнивать только два фактора за раз, чем сразу давать весовые коэффициенты для всего списка);

- обрабатывать качественные суждения (преобразовывать вербальные оценки («более важно», «намного важнее») в числовые);

- проверять согласованность (математически проверять, насколько логичны и непротиворечивы были суждения эксперта).

На *1 этапе* оценки производится формирование иерархической системы, которая будет отражать все ключевые факторы, влияющие на безопасность. Цель иерархии – отобразить влияние ошибочных действий персонала и их причин на риск травм. Согласно рисунку 3.5, источником ошибок становятся действия персонала различного уровня, для которых причинами ошибок являются недостатки в квалификации, мотивации, психофизиологии, обеспечении и их сочетаниях.

В иерархии отражаются 3 ключевых параметра, влияющих на риск травмирования персонала:

1) критерий А: ошибки горнорабочих:

- низкая квалификация горнорабочих (А1);
- низкая мотивация горнорабочих (А2);
- психофизиологическая склонность к ошибочным и рискованным действиям горнорабочих (А3);
- недостаточное обеспечение рабочего процесса горнорабочих (А4);

2) критерий Б: ошибки ИТР:

- низкая квалификация ИТР (Б1);
- низкая мотивация ИТР (Б2);
- психофизиологическая склонность к ошибочным и рискованным действиям ИТР (Б3);
- недостаточное обеспечение рабочего процесса ИТР (Б4);

3) критерий В: ошибки руководства:

- низкая квалификация руководства (В1);
- низкая мотивация руководства (В2);
- психофизиологическая склонность к ошибочным и рискованным действиям руководства (В3);
- недостаточное обеспечение рабочего процесса руководства (В4).

Поскольку были выделены 3 основные группы причин, а именно горно-технологические, технические и организационные, иерархия была построена для каждой группы причин.

На *2 этапе* был проведен экспертный опрос для попарного сравнения элементов верхнего уровня (А, Б и В) и нижнего уровня внутри выделенной группы с целью получения количественных оценок относительной важности каждого фактора. Для оценки используется стандартная шкала Саати (1-9), где: 1 - Равная важность; 3 - Умеренное превосходство; 5 - Существенное превосходство; 7 - Значительное превосходство; 9 - Очень сильное превосходство.

На *3 этапе* проведена математическая обработка полученных значений для получения весовых коэффициентов [78].

Для попарного сравнения элементов верхнего уровня А, Б и В построена матрица 3x3 для каждой группы экспертов:

$$M = \begin{bmatrix} AA & AB & AV \\ BA & BB & BV \\ VA & VB & VV \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

где элемент БА показывает во сколько раз элемент Б важнее элемента А. Результаты оценок трех групп экспертов приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Матрица парной оценки важности элементов по методу АНР, (составлено автором)

X_{ij}	Группа экспертов 1			Группа экспертов 2			Группа экспертов 3		
	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В
А	1,00	0,11	0,14	1,00	0,11	0,20	1,00	0,14	0,20
Б	9,00	1,00	1,00	9,00	1,00	3,00	7,00	1,00	3,00
В	7,00	1,00	1,00	5,00	0,33	1,00	5,00	0,33	1,00
Сумма по столбцам $\sum_{j=1}^3 X_j$	15,00	1,44	4,20	15,00	1,44	4,20	13,00	1,48	4,20

Первым шагом является нормализация полученных данных, которая заключается в определении частного от деления баллов первичной матрицы экспертной оценки на сумму этих же баллов по столбцам, то есть по каждому источнику (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Нормализованная матрица парной оценки важности элементов (составлено автором)

	Группа экспертов 1			Группа экспертов 2			Группа экспертов 3		
	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В
А	0,059	0,053	0,067	0,067	0,077	0,048	0,077	0,097	0,048
Б	0,529	0,474	0,467	0,600	0,692	0,714	0,538	0,677	0,714
В	0,412	0,474	0,467	0,333	0,231	0,238	0,385	0,226	0,238

Также рассчитывается среднее арифметическое M_i , полученных нормализованных данных N_i , по строкам согласно формуле:

$$M_i = \frac{\sum_{i=1}^3 N_i}{3}, \quad (3.2)$$

где i – рассматриваемая группа персонала А, Б или В по строкам.

Результаты расчетов приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Собственные вектора оценок рассмотренных групп экспертов (составлено автором)

	M_i для 1 группы экспертов (Собственный вектор первой матрицы)	M_i для 2 группы экспертов (Собственный вектор второй матрицы)	M_i для 3 группы экспертов (Собственный вектор третьей матрицы)
А	0,059	0,064	0,074
Б	0,490	0,669	0,643
В	0,451	0,267	0,283

По формуле (3.3) определяется собственное число матрицы:

$$\lambda_j = M_i \cdot \sum_{j=1}^3 X_j \quad (3.3)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Собственные числа оценок рассмотренных групп экспертов (составлено автором)

	λ_j для 1 группы экспертов	λ_j для 2 группы экспертов	λ_j для 3 группы экспертов
А	1,009	0,956	0,959
Б	1,034	0,966	0,949
В	0,966	1,123	1,188

Собственный вектор определяет принадлежность элемента к подмножеству, а собственное число показывает относительную значимость отдельного фактора в выборке. При этом в координатах собственного вектора отражаются веса или уровни значимости отдельных элементов матрицы согласно оценкам экспертов.

Далее проводится оценка согласованности результатов, путем расчета индекса согласованности, учитывающего максимальное собственное число для группы экспертов (3.4), по формуле (3.5):

$$\lambda_{max} = \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C, \quad (3.4)$$

$$ИС = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}. \quad (3.5)$$

где n – количество исследуемых параметров, в рассмотренном случае $n = 3$.

Согласно полученному индексу согласованности рассчитывается отношение согласованности (СО) по формуле (3.6):

$$СО = \frac{ИС}{ИЦ} \quad (3.6)$$

где ИС – индекс согласованности данных, определяется по выражению (3.5);

ИЦ – случайный индекс согласованности, определяется по шкале Т.Л. Саати по числу попарно сравниваемых элементов n (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Шкала значений случайного индекса целостности [100]

n	1	2	3	4	5	6	7	8
ИЦ	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41
n	9	10	11	12	13	14	15	
ИЦ	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59	

Важно, если $СО < 0,10$, то суждения эксперта считаются согласованными.

Если больше – эксперту могут предложить пересмотреть свои оценки.

Полученные в результате расчета значения приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Результаты проверки согласованности данных (составлено автором)

	Первая группа экспертов	Вторая группа экспертов	Третья группа экспертов
λ_{max}	3,009 \approx 3	3,045 \approx 3	3,097 \approx 3
ИС	0,004	0,023	0,048
СО	0,008 $<$ 0,1	0,039 $<$ 0,1	0,083 $<$ 0,1

Таким образом, получены веса для рассмотренных групп персонала:

$$A = 0,064, \quad B = 0,605, \quad V = 0,331.$$

Аналогично рассматриваются результаты экспертного попарного сравнения внутри каждой отдельной группы персонала по формулам (3.4-3.6), для которых проводится нормализация и рассчитываются собственные числа и вектора:

$$MA = \begin{bmatrix} A_1A_1 & A_1A_2 & A_1A_3 & A_1A_4 \\ A_2A_1 & A_2A_2 & A_2A_3 & A_2A_4 \\ A_3A_1 & A_3A_2 & A_3A_3 & A_3A_4 \\ A_4A_1 & A_4A_2 & A_4A_3 & A_4A_4 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$MB = \begin{bmatrix} B_1B_1 & B_1B_2 & B_1B_3 & B_1B_4 \\ B_2B_1 & B_2B_2 & B_2B_3 & B_2B_4 \\ B_3B_1 & B_3B_2 & B_3B_3 & B_3B_4 \\ B_4B_1 & B_4B_2 & B_4B_3 & B_4B_4 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$MV = \begin{bmatrix} V_1V_1 & V_1V_2 & V_1V_3 & V_1V_4 \\ V_2V_1 & V_2V_2 & V_2V_3 & V_2V_4 \\ V_3V_1 & V_3V_2 & V_3V_3 & V_3V_4 \\ V_4V_1 & V_4V_2 & V_4V_3 & V_4V_4 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Полученные в результате проверки значения приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Результаты проверки согласованности данных в группах А, Б и В (составлено автором)

	Анализ причин ошибок горнорабочих (Категория А)	Анализ причин ошибок ИТР (Категория Б)	Анализ причин ошибок руководства (Категория В)
λ_{max}	4,14 \approx 4	4,08 \approx 4	4,15 \approx 4
ИС	0,049	0,027	0,048
СО	0,054 < 0,1	0,031 < 0,1	0,054 < 0,1

Полученные веса для причин ошибочных действий каждой отдельной группы персонала приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Веса причин ошибочных действий каждой отдельной группы персонала (составлено автором)

	Горнорабочие	ИТР	Руководство
Квалификация	0,081	0,438	0,461
Мотивация	0,078	0,413	0,399
Ошибки	0,196	0,047	0,093
Обеспечение	0,647	0,103	0,046

В целях получения итогового удельного веса каждого конечного фактора на реализацию горно-технологических, технических и организационных причин рассчитывается глобальный вес каждого подкритерия путем перемножения на вес его группы и учета доли персонала при реализации каждого вида причин (рисунок 3.8).

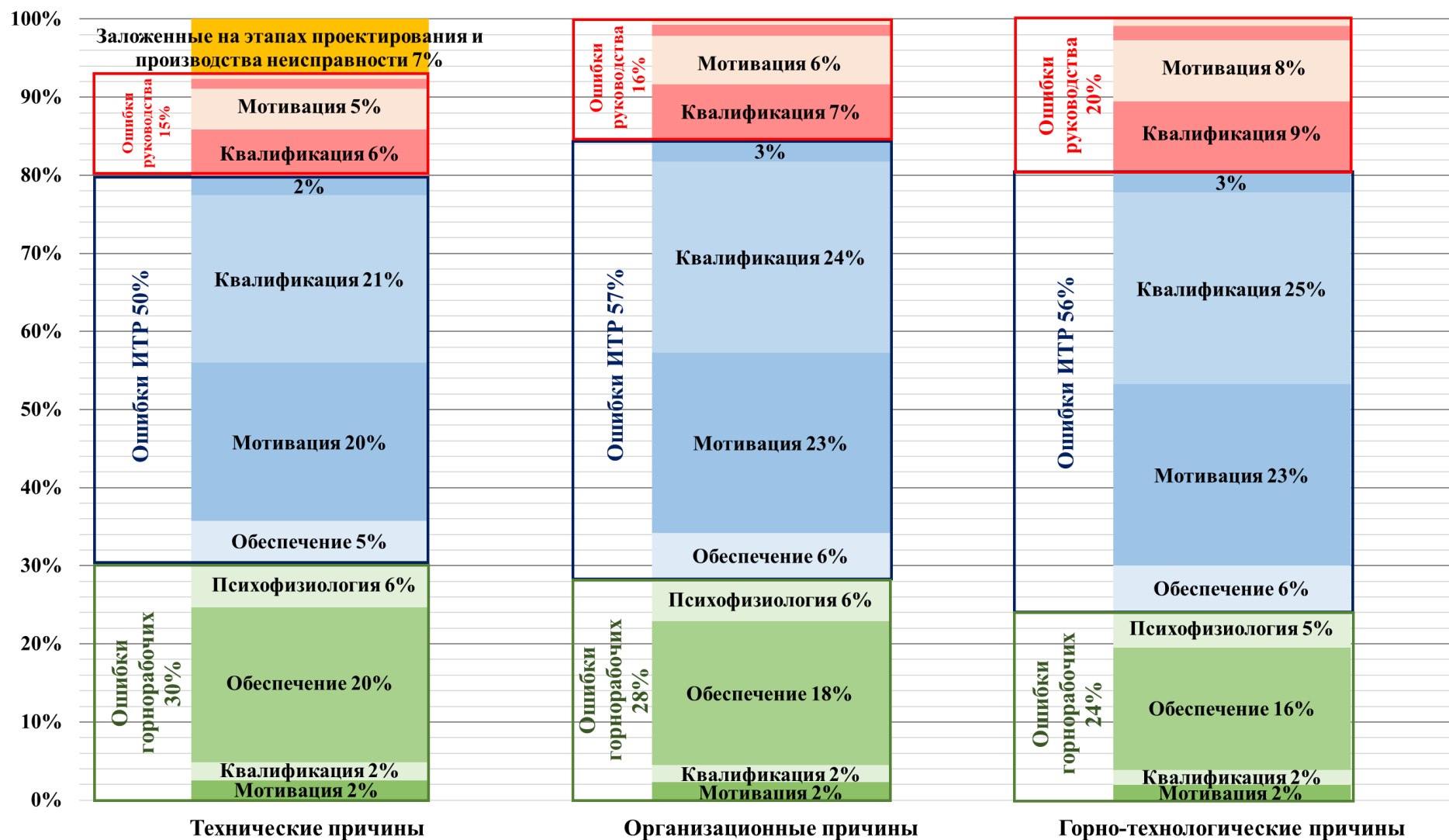


Рисунок 3.8 – Удельный вес ошибочных действий персонала при реализации горно-технологических, технических и организационных причин (составлено автором)

На рисунке 3.8 представлен результат определения удельного веса различных групп персонала в структуре горно-технологических, технических и организационных причин травмирования. Для каждой группы определены преобладающие причины реализации травмоопасных событий. Так, при нарушениях ИТР и руководства наиболее значимыми причинами ЧФ выделены мотивация и квалификация, в то время как для исполнителей процесса значимым становится уровень обеспечения их труда.

Действия ИТР характеризуют деятельность различных подразделений предприятия, в которых персонал подразделяется на руководителей и исполнителей процесса. Также, качество деятельности подразделений имеет неравнозначное значение для исполнителей процесса и может оказывать прямое и косвенное воздействие на риск реализации аварий и травмоопасных событий.

В свою очередь, решения руководства предприятия оказывают воздействия на ИТР и исполнителей технологического процесса. В результате, нарушения в управлении, отсутствие мотивации к безопасному труду и политика, направленная на увеличение мощностей в ущерб безопасности, снижают безопасность всех работников.

Классификация причин ошибок персонала (рисунок 3.5) демонстрирует, что за истоком случаев небезопасного поведения лежат системные управленческие и организационные просчеты. Эффективное противодействие аварийности требует не карательных мер в отношении отдельного работника, а комплексного подхода, включающего пересмотр системы обучения и допуска, трансформацию корпоративной культуры, внедрение программ управления психофизиологическим состоянием персонала и безусловное обеспечение технической и организационной возможности работать безопасно. Только такой всесторонний анализ позволяет влиять на причины негативного воздействия ЧФ, а не на симптомы проблем в области безопасности труда.

3.3 Корреляционно-регрессионный анализ влияния частоты ошибочных действий на профессиональный риск травмирования горнорабочих

Статистический анализ представляет собой систематический процесс сбора, обработки и интерпретации количественных данных с целью выявления скрытых закономерностей, корреляций и тенденций. Основой данного анализа является математическая статистика, которая разрабатывает и совершенствует методы сбора, анализа и интерпретации данных. Ключевая задача статистического анализа заключается в трансформации первичных данных в осмысленные выводы, что позволяет прогнозировать будущие события, оптимизировать текущие процессы и выявлять ранее нераспознанные закономерности.

В статистическом анализе используются различные методологические подходы, включая описательную статистику, которая предоставляет первичное обобщение данных, и аналитическую статистику, направленную на проверку гипотез и установление причинно-следственных связей. Описательная статистика включает в себя вычисление средних значений, медианы, моды, дисперсии и других статистических характеристик, что позволяет получить базовое представление о данных. Аналитическая статистика, в свою очередь, использует более сложные методы, такие как регрессионный анализ, факторный анализ и дисперсионный анализ, для более глубокого понимания взаимосвязей между переменными.

Для оценки уровня статистической значимости коэффициентов уравнения регрессии применяются методологические подходы и статистические критерии. В данном контексте особое внимание уделяется критерию Стьюдента, который позволяет провести комплексную оценку значимости уравнения в целом и его отдельных компонентов. Оценка значимости отдельных коэффициентов уравнения осуществляется с помощью t -критерия Стьюдента [28]. Этот критерий предполагает проверку гипотезы о случайной природе коэффициентов, то есть о их незначимом отличии от нуля. Расчетные значения t -критерия для каждого коэффициента регрессии и коэффициента корреляции сопоставляются с величиной

стандартной ошибки, что позволяет определить статистическую значимость каждого параметра.

Была изучена вероятность ошибочных действий в структуре предприятия, которая рассчитывалась для трех категорий работников: горнорабочих, ИТР и руководителей, что определялось по результатам анализа НС.

Также был рассчитан риск травмирования персонала в результате возникновения и реализации нарушений выделенных категорий работников, который определяется по формуле (3.7)

$$R_{\text{тр}} = \frac{N}{C}, \quad (3.7)$$

где $R_{\text{тр}}$ – риск реализации несчастного случая в зависимости от уровня принятия решений; N – количество травмированных работников; C – общее количество работников, подверженных данному виду риска.

Для исследования вида и направления зависимости был рассчитан коэффициент ковариации (cov). Ковариация – это числовая мера, которая характеризует совместную изменчивость двух случайных величин и направление их линейной зависимости. Ковариация показывает направление линейной зависимости между двумя случайными величинами x и y и рассчитывается по формуле (3.8):

$$\text{cov}(X, Y) = \Sigma[(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})] / (n - 1) \quad (3.8)$$

где: X_i, Y_i – i -е значения переменных, \bar{X}, \bar{Y} – выборочные средние, n – объем выборки, $(n-1)$ – поправка Бесселя для несмещенной оценки (в генеральной совокупности делили бы на N).

При условии $\text{cov}(X, Y) = 0$ между переменными нет никакой связи.

Так, в результате расчета коэффициентов ковариации для массивов данных, характеризующих влияние вероятности ошибочных действий со стороны исполнителей, ИТР и руководителей на риск травмирования подземного персонала, было установлено, что наибольшая линейная зависимость наблюдается при оценке действий ИТР ($\text{cov} = 0,138$), в то время как для исполнителей и руководителей данная связь составила $\text{cov} = 0,119$ и $\text{cov} = 0,095$ соответственно.

В то же время полученные коэффициенты свидетельствуют о положительной связи исследуемыми величинами, но оценивают только возможность наличия линейной связи. Однако коэффициент ковариации не показывает силу связи в стандартизированном виде из-за зависимости от единиц измерения. Значение критерия, близкое к нулю, свидетельствует об отсутствии линейной связи, но не отрицает наличие других видов. Поэтому коэффициент ковариации является предшественником и основой для расчета корреляции, которая лишена этого недостатка и является одной из самых используемых мер связи в статистике. Таким образом, на практике ковариация часто является промежуточным шагом в расчетах, в то время как корреляция используется для итоговой интерпретации взаимосвязи между переменными. Следовательно, была исследована возможность наличия других видов зависимостей.

Корреляционно-регрессионный анализ является фундаментальным статистическим инструментом для изучения взаимосвязей между явлениями. Его суть заключается в совместном изучении двух типов зависимостей: корреляционной, которая оценивает силу и направление статистической связи между переменными, и регрессионной, которая описывает ее точную математическую форму.

Ключевым атрибутом данного метода является его количественная природа, что позволяет не только констатировать наличие корреляционной связи между переменными, но и объективно оценивать её силу с помощью коэффициента корреляции Пирсона (r), значение которого варьируется в диапазоне от -1 до +1, что позволяет определить степень сопряженности изменений одной переменной с изменениями другой.

Для определения коэффициента корреляции рассчитываются:

- средние значения для X и Y по формулам (3.9) и (3.10):

$$\bar{X} = \Sigma X_i / n, \quad (3.9)$$

$$\bar{Y} = \Sigma Y_i / n, \quad (3.10)$$

- суммы квадратичных отклонений X и Y по формулам (3.11) и (3.12):

$$S_{xx} = \Sigma(X_i - \bar{X})^2, \quad (3.11)$$

$$S_{yy} = \Sigma(Y_i - \bar{Y})^2, \quad (3.12)$$

- совместная сумма будет определяться согласно формуле (3.13):

$$S_{xy} = \Sigma((X_i - \bar{X}) * (Y_i - \bar{Y})), \quad (3.13)$$

В результате, коэффициент корреляции Пирсона (r) рассчитывается по формуле (3.14):

$$r = \text{cov}(X, Y) / (S_x * S_y)$$

$$r = [\Sigma((X_i - \bar{X}) * (Y_i - \bar{Y}))] / [\sqrt{\Sigma(X_i - \bar{X})^2} * \sqrt{\Sigma(Y_i - \bar{Y})^2}] \quad (3.14)$$

$$r = S_{xy} / [\sqrt{S_{xx}} * \sqrt{S_{yy}}]$$

где: S_x, S_y – выборочные стандартные отклонения X и Y .

Прогностическая функция анализа является одной из наиболее значимых, поскольку построенное уравнение регрессии формализует зависимость, где одна переменная выступает в качестве зависимой (объясняемой), а другие – в роли независимых (объясняющих) факторов. Это уравнение предоставляет возможность прогнозировать ожидаемое значение зависимой переменной при заданных значениях независимых переменных, что является важным инструментом для принятия обоснованных решений в различных областях науки и практики.

Теснота связи зависимой и независимой переменных в полученном уравнении оценивается коэффициентом детерминации R^2 , определяемым по формуле (3.15):

$$R^2 = 1 - \frac{YE}{YT} = 1 - \frac{\Sigma(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\Sigma(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3.15)$$

где YE – сумма квадратов ошибок в исходной шкале; YT – общая вариация Y в исходной шкале; \hat{Y}_i – предсказанное значение, полученное после всех преобразований и обратного преобразования в исходную шкалу.

Если коэффициент детерминации стремится к единице, это означает, что модель корректно описывает все изменения в данных. Если $R^2 = 0$ – модель не объясняет изменения в массиве, а характеризует среднее значение по всем данным.

Для проверки значимости полученных коэффициентов уравнения регрессии используются Т-тест и р-значение. Т-тест или t-критерий Стьюдента – это статистический метод, определяющий статистическую значимость различий между значениями двух анализируемых выборок данных. При проведении t-теста задается нулевая гипотеза – «X не влияет на Y (при контроле других переменных)». Расчет t-статистики проводится по формуле (3.16):

$$t_j = b_j / SE(b_j) \quad (3.16)$$

где b_j – оценённый по методу наименьших квадратов коэффициент для переменной X_j ; $SE(b_j)$ — стандартная ошибка коэффициента b_j , которая показывает точность проведенной оценки.

В результате выборочной оценки коэффициента b_j , если гипотеза верна ($b_j = 0$), то наблюдаемое значение t_j (или более экстремальное) должно быть маловероятным событием.

р-значение – ключевой показатель результатов t-теста, который отражает вероятность получить наблюдаемые или более экстремальные результаты, чем наблюдаемое t_j при условии, что нулевая гипотеза верна. Таким образом, интерпретация р-значения в контексте t-теста:

$p < 0,05$ – различия статистически значимы (отвергают нулевую гипотезу).

$p \geq 0,05$ – различия не являются статистически значимыми.

Если рассмотренное событие слишком маловероятно (р-значение < выбранного уровня значимости), мы отвергаем гипотезу. Следовательно, влияние значения X на значение Y является значимым.

Корреляционно-регрессионный анализ, проведенный для оценки взаимосвязи между риском травматизма и частотой ошибочных действий персонала с различным уровнем принятия решений, выявил сильную прямую корреляцию (рисунок 3.9) [135].

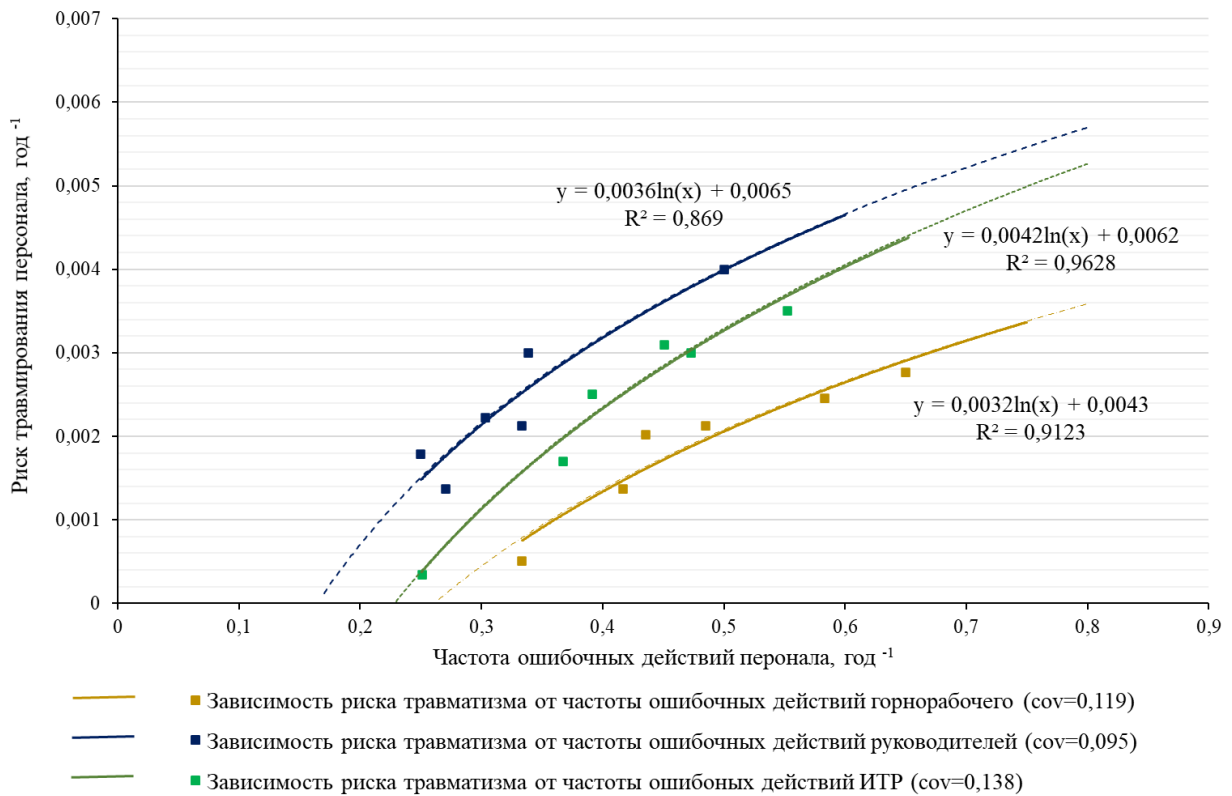


Рисунок 3.9 – Зависимость риска производственного травматизма от вероятности ошибочных действий персонала (составлено автором)

Согласно графикам, приведенным на рисунке 3.9, была получена логарифмическая зависимость прогнозного профессионального риска травмирования персонала $R_{тр}$ от частоты воздействия человеческого фактора $R_{чф}$ на каждом уровне принятия решений, которая описывается уравнением (3.17):

$$R_{тр} = f(R_{чф}) = a \ln(R_{чф}) + b, \quad (3.17)$$

где a – коэффициент частоты ошибочных действий; b – константа.

Коэффициент достоверности аппроксимации, характеризующий взаимосвязь между общим риском травмирования и вероятностью влияния ошибочных действий, согласно формуле 3.15, для горнорабочих составляет 0,91, для ИТР – 0,96, для руководства – 0,87.

Смещение графиков относительно оси абсцисс показывает, что риск травмирования персонала начинает увеличиваться при частоте ошибок руководства более 0,17 год⁻¹, в то время как для ИТР и горнорабочих эти значения составляют 0,23 и 0,26 соответственно. Это свидетельствует о том, что риск травмирования работников существенно возрастает при накоплении случаев

ошибок и нарушений со стороны персонала всех уровней руководства технологическим процессом.

Также, расположение кривых и угол наклона свидетельствуют о том, что частота ошибочных действий ИТР оказывает меньшее влияние на риск травмирования по сравнению с ошибками руководства, поскольку имеет меньшую значимость для последствий. Однако частота ошибок ИТР более значима и имеет большую кривизну по сравнению с частотой ошибок горнорабочих, чьи нарушения преимущественно оказывают воздействие на самого работника или его бригаду.

3.4 Определение значимости показателей человеческого фактора с применением множественной регрессии

Множественная регрессия представляет собой статистический инструмент, предназначенный для анализа взаимосвязей между зависимой переменной и множеством независимых переменных (предикторов). В отличие от простой линейной регрессии, этот метод позволяет учитывать комплексное воздействие множества факторов одновременно, что значительно расширяет возможности для глубокого и всестороннего анализа данных. Применение множественной регрессии способствует более точному выявлению и интерпретации взаимосвязей в сложных системах, где на зависимую переменную может оказывать влияние целый спектр независимых переменных. Таким образом, данный метод является неотъемлемым компонентом современного статистического анализа и находит широкое применение в различных областях науки и практики.

Для оценки уровня статистической значимости коэффициентов многофакторного уравнения регрессии применяется не только критерий Стьюдента [41], но и критерий Фишера [42]. Оценка значимости уравнения в целом осуществляется с помощью F-критерия Фишера. Данный критерий основывается на сравнении дисперсий исходного ряда наблюдений и остаточной последовательности, полученной на основе исследуемой модели. F-тест проверяет гипотезу: «Все коэффициенты при регрессорах (кроме константы) равны нулю». Расчётное значение F-критерия определяется как отношение дисперсии

исследуемого показателя к несмещённой оценке дисперсии остаточной последовательности по формуле (3.18):

$$F = (YR / k) / (YE / (n - k - 1)),$$

$$F = (\Sigma(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 / k) / (\Sigma(Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (n - k - 1)) \quad (3.18)$$

где YE – сумма квадратов ошибок в исходной шкале; YR – сумма квадратов, объясненная регрессией; \hat{Y}_i – предсказанное значение, полученное после всех преобразований и обратного преобразования в исходную шкалу. Статистика имеет F-распределение Фишера с (k, n-k-1) степенями свободы.

Далее, расчетное значение сравнивается с критическим (табличным) значением F-критерия при заданном уровне значимости. Если $F_{\text{расч}} > F_{\text{крит}}(\alpha; k, n-k-1)$ или p-значение $< \alpha$ (уровень статистической значимости принимается 0,05), нулевая гипотеза отвергается, уравнение признаётся статистически значимым, что свидетельствует о его адекватности и релевантности для описания исследуемого процесса.

Кроме того, для оценки практической значимости уравнения множественной регрессии применяются такие показатели, как индекс множественной корреляции r и коэффициент детерминации R^2 . Индекс множественной корреляции характеризует тесноту связи между результативным признаком и совокупностью исследуемых факторов, а коэффициент детерминации представляет собой квадрат индекса множественной корреляции и оценивает долю дисперсии зависимой переменной, объясняемую влиянием независимых факторов.

Границы изменения индекса множественной корреляции варьируются от 0 до 1, где значение, близкое к 1, указывает на высокую степень связи между результативным признаком и совокупностью факторов. Таким образом, данные показатели являются важными инструментами для изучения и интерпретации результатов многофакторного регрессионного анализа, позволяя сделать обоснованные выводы о влиянии различных факторов на исследуемый процесс.

Действия ИТР имеют высокую частоту реализации: более 90% травм происходят при воздействии ошибок среди ИТР, в то время как значимость их

действий при рассмотрении несчастных случаев различной степени составляет около 60% независимо от тяжести.

В период с 2013 по 2024 года было установлено, что среди всех причин травмирования работников наибольшую частоту имеют причины, связанные с решениями инженерно-технических работников, обеспечивающих деятельность основного технологического процесса.

Поэтому деятельность ИТР, в результате которой происходят ошибочные действия, классифицирована по области реализации на четыре направления:

1) вероятность ошибок при обеспечении состояния машин и механизмов – характеризуется нарушением порядка эксплуатации технических объектов и систем, применением недостаточных или нерегулируемых методов ремонта, что влечет за собой ухудшение эксплуатационных характеристик и увеличение вероятности аварийных ситуаций;

2) вероятность ошибок при обеспечении состояния проходов и рабочих мест – характеризует несвоевременное обустройство промышленных площадок и подземных выработок, наличие нагромождений, перекрытых проходов и размещения опасного оборудования и частей оборудования, недостаточное обеспечение работников основного процесса средствами для его осуществления, что создает дополнительные риски для жизни и здоровья людей, а также для устойчивого функционирования инфраструктуры;

3) вероятность ошибок при обеспечении работников – недостаточная реализация или отсутствие реализации мер по охране труда и технике безопасности, в том числе: обучение безопасным методам работы, оказанию первой помощи, использованию средств индивидуальной защиты, оценке рисков и стратегиям их снижения, периодическим медицинским осмотрам, обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты, безопасными инструментами, средствами, материалами и деталями для реализации основного технологического процесса;

4) вероятность ошибок при организации производственных процессов – несогласованность действий различных подразделений, несоблюдение требований проектной документации, отклонение от установленных должностных инструкций, требований нормативно-правовых актов, регламентирующих выполнение рассматриваемого вида работ [135].

В ходе анализа ошибок со стороны ИТР сформированы выборки данных (рисунок 3.5), включающие показатели: вероятности ошибок при обеспечении состояния машин и механизмов (X_1), вероятности ошибок при обеспечении состояния проходов и рабочих мест (X_2), вероятности ошибок при обеспечении работников (X_3) и вероятности ошибок при организации производственных процессов (X_4) [135].

С учетом влияния показателей с выявленной статистически значимой связью проведен многофакторный регрессионный анализ, в результате чего получена регрессионная модель (3.19), отражающая воздействие вероятности ошибочных действий на риск реализации ошибок ИТР $R_{чф}^{ИТР}$:

$$R_{чф}^{ИТР} = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + e, \quad (3.19)$$

где X_1 – вероятности ошибок при обеспечении состояния машин и механизмов;

X_2 – вероятности ошибок при обеспечении состояния проходов и РМ;

X_3 – вероятности ошибок при обеспечении работников;

X_4 – вероятности ошибок при организации работ;

a, b, c, d – коэффициенты независимых переменных X_1, X_2, X_3, X_4 ;

e – константа уравнения регрессии.

Ранжирование шахт по наиболее значимому параметру воздействия осуществляется на основе определения уровня статистической значимости вероятности воздействия ошибок ИТР в четырех рассмотренных направлениях.

Согласно рисунку 3.8, наиболее частыми причинами нарушений со стороны ИТР являются низкая квалификация и мотивация, а также при рассмотрении организации труда – недостаточное обеспечение. Следовательно, превентивные мероприятия по предупреждению ошибочных действий должны быть направлены на анализ и исключение реализации именно этих причин.

3.5 Алгоритм применения метода оценки профессионального риска, основанного на учете ошибочных действий персонала

Для оценки профессионального риска, основанного на анализе негативного воздействия человеческого фактора, а именно вероятности ошибок работников, предлагается использовать следующий метод:

На 1 этапе проводится определение исходных параметров:

- оценка существующего уровня риска травмирования работников;
- анализ причин травмирования персонала с определением вероятности влияния ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководства на их реализацию.

2 этап основан на корреляционно-регрессионной зависимости риска травмирования работников угольных шахт от вероятности ошибочных действий горнорабочих, ИТР и руководства, согласно которой определяется приоритетная группа персонала.

При установлении наиболее значимого воздействия со стороны горнорабочих или руководства необходимо переходить к 3 этапу. Однако рассмотрение действий ИТР требует дополнительного анализа, поскольку ИТР обеспечивают большой спектр направлений деятельности независимых друг от друга структурных подразделений.

В данном исследовании было рассмотрено 4 вида деятельности, направленные на обеспечение машин и механизмов, проходов, выработок и рабочих мест, персонала и организацию работ, поскольку имели статистически значимую выборку данных.

На 3 этапе необходимо:

- оценить причины (квалификация, мотивация, психофизиология или обеспечение) реализации ошибочных действий приоритетной группы персонала;
- провести аудит существующего уровня безопасности и эффективности мероприятий для установленных причин;

- разработать и обосновать применение превентивных адресных мероприятий по снижению влияния ошибок в зависимости от установленных причин воздействия.

Алгоритм применения метода представлен на рисунке 3.10.

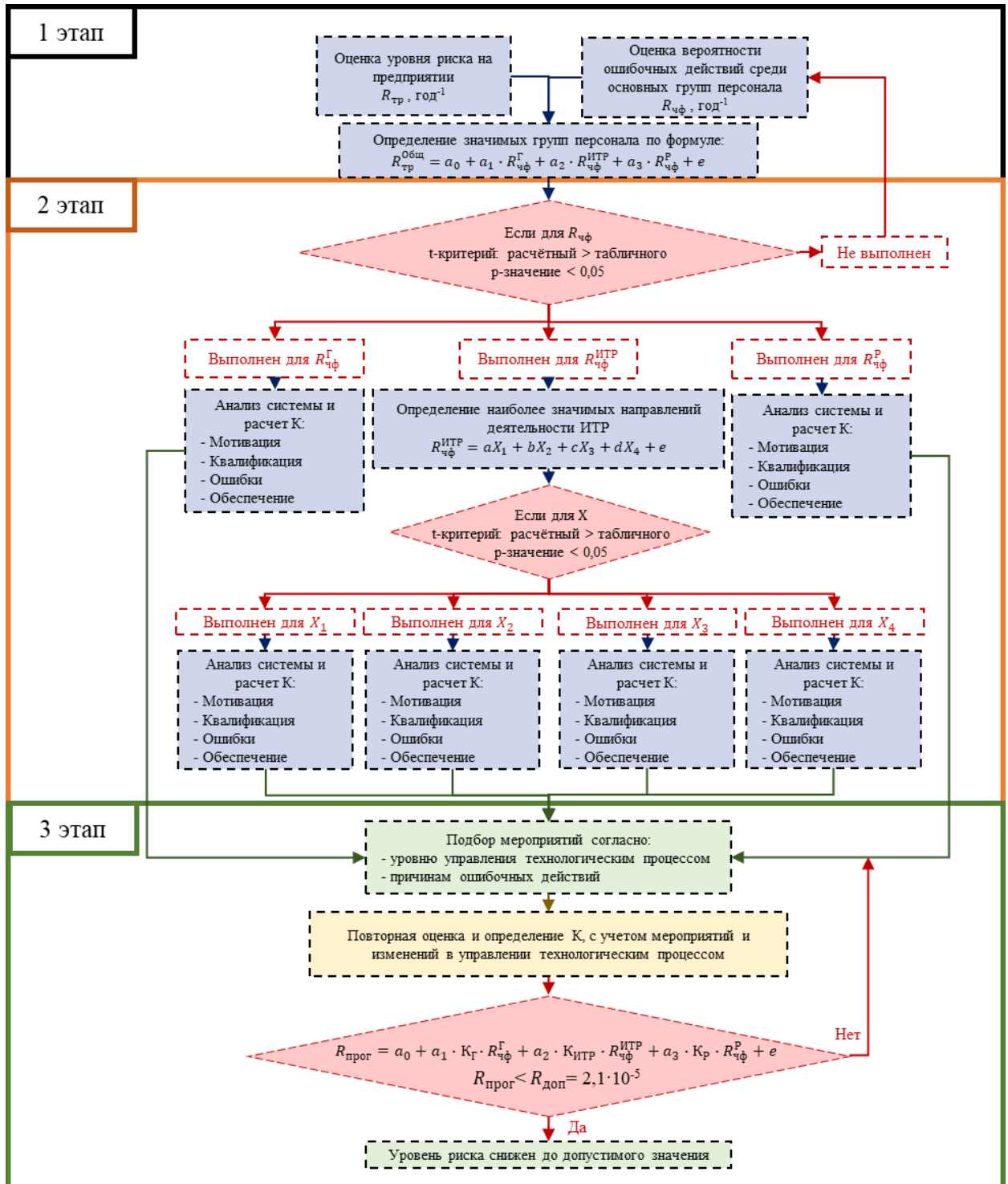


Рисунок 3.10 – Алгоритм применения метода оценки рисков, учитывающего вероятность ошибочных действий персонала различных уровней управления технологическим процессом (составлено автором)

3.6 Выводы к главе 3

1. Проведен анализ более 300 случаев травмирования работников угольных шахт с рассмотрением видов травмирующих факторов, причин развития травоопасных событий и воздействия ошибочных действий персонала.

2. Установлена корреляционная зависимость между возникновением ошибочных действий и риском травмирования работников при реализации организационных [$R^2 = 0,94$], технических [$R^2 = 0,92$] и горно-технологических причин [$R^2 = 0,99$].

3. Доказана необходимость учета вероятности ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководителей при оценке горно-технологических, технических и организационных причин травмирования работников. Определен удельный вес ошибок рассмотренных групп персонала для каждой из указанных причин, согласно которому ошибки горнорабочих имеют максимальный удельный вес при воздействии на организационные причины (35%), в то время как ошибочные действия ИТР и руководства оказывают влияние на технические причины в 85% случаев, а на организационные и горно-технологические около 60% случаев.

4. Разработан метод оценки риска травмирования персонала угольных шахт, учитывающий влияние вероятности возникновения ошибочных действий на различных уровнях управления технологическим процессом. Алгоритм использования предложенного метода заключается в определении исходных показателей уровня риска травмирования персонала и частоты ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководства; регрессионном анализе входных данных, согласно которому устанавливается уровень статистической значимости влияния частоты ошибочных действий рассмотренных групп персонала с рассмотрением наиболее критической группы; обосновании превентивных адресных мероприятий, направленных на предупреждение причин ошибок наиболее значимых направлений деятельности критической группы персонала.

5. Разработанный алгоритм оценки и разработки адресных мер позволяет предупреждать негативное воздействие человеческого фактора во всех структурах предприятия, а также проводить ранжирование наиболее значимых направлений принятия решений и разрабатывать план по улучшению системы безопасности в подразделении, на объекте и на предприятии в целом.

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА АДРЕСНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ РИСКА ТРАВМИРОВАНИЯ РАБОТНИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ, УЧИТЫВАЮЩИХ ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБОЧНЫХ ДЕЙСТВИЙ ПЕРСОНАЛА

4.1 Обоснование мероприятий по предупреждению ошибочных действий персонала угольных шахт

Человеческий фактор в производственной или управленческой деятельности является многокомпонентной переменной, интегрирующей несколько ключевых аспектов [16]. Среди них выделяется низкая квалификация, характеризующаяся недостаточным уровнем знаний и навыков для безопасного и эффективного выполнения профессиональных задач. Это создает предпосылки для возникновения ошибок, которые могут усугубиться вследствие недостаточного обеспечения, включающего отсутствие четких инструкций, качественных инструментов, актуальной информации или надежных средств индивидуальной защиты. Даже высококвалифицированный специалист в таких условиях вынужден прибегать к импровизации, что значительно увеличивает риски [14].

Однако наличие знаний и инструментов само по себе не является достаточным условием для безопасной работы. Важную роль играет уровень мотивации, недостаток которой приводит к отсутствию внутренней заинтересованности и чувства ответственности. В таких условиях сотрудник может игнорировать установленные правила, избегать проявления инициативы и формально подходить к выполнению своих обязанностей, что нивелирует все усилия, направленные на обеспечение труда и повышение навыков и знаний.

Кроме того, необходимо учитывать психофизиологические особенности человека. К ним относятся уровень внимания, скорость психомоторных реакций, эмоциональная устойчивость и индивидуальные биоритмы, которые определяют способность индивида справляться со стрессом, усталостью и монотонностью [62, 72, 85]. Эти характеристики оказывают непосредственное влияние на работоспособность и надежность сотрудника.

Указанные факторы не существуют изолированно, а взаимодействуют между собой, усиливая негативное воздействие друг друга. В целях предупреждения воздействия каждой группы причин рассмотрены методы и методики оценки данных причин, приведенные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценка причин ошибочных действий (составлено автором)

Показатели	Исследуемые показатели	Методика оценки
Квалификация		
Профессиональная подготовленность	- Уровень знаний, умений и навыков для выполнения работ - Опыт работы	- Периодическая проверка знаний - Контроль проведения инструктажей, обучения
Уровень знаний в области охраны труда и промышленной безопасности	Уровень и навык применения знаний в области безопасности труда	Наблюдение за деятельностью и соблюдением правил
Мотивация		
Управление безопасностью труда	Уровень знаний в области менеджмента безопасности труда	Формирование культуры приверженности к безопасному труду
Психофизиология		
Психофизиологический потенциал	Оценка способности человека поддерживать необходимую работоспособность и эффективность	- Дифференцированная оценка работоспособности и стресса (ДОРС) - Оценка скорости переработки информации по корректурной пробе
Склонность к риску	Оценка склонности работника к рискованному поведению и ошибкам	- Методика Шуберта «Готовность к риску» - «Исследование склонности к риску» А.Г. Шмелёва
Обеспечение		
Оценка выполнения требований должностной инструкции	Перечень и качество выполняемых операций	Разработка требований к правильности и объему выполняемых операций
Оценка соответствия требованиям механизмов, рабочих мест, оборудования, проходов, выработок и т.д.	- Выполнение нормативных требований при строительстве и установке оборудования - Соблюдение планов проведения ремонта	Контроль нормативных параметров выработок и процесса добычи

Низкая мотивация может препятствовать стремлению к повышению квалификации, а психофизиологические ограничения усугубляются в условиях недостаточного обеспечения. Эффективное управление человеческим фактором

требует интегративного подхода, включающего развитие профессиональных компетенций, создание благоприятных условий труда, формирование высокого уровня вовлеченности и учет индивидуальных особенностей каждого сотрудника.

В целях учета рассмотренных групп причин предлагается использовать балльный метод, позволяющий объединить полученные по различным методикам оценки квалификации, мотивации, психофизиологических показателей персонала и уровня обеспечения труда. Согласно полученным балльным значениям, рассчитывается коэффициент безопасного ведения работ персоналом K для каждой группы причин по формуле (4.1):

$$K = \sum \frac{f_i}{f_{max}} \cdot 10^{(f_i - f_{max})} \quad (4.1)$$

где f_{max} – максимальная балльная оценка; f_i – балльная оценка i -го фактора.

1. Оценка квалификации

Квалификация состоит из двух блоков знаний, умений, навыков и опыта, направленных на профессиональную подготовку и подготовку в области безопасности труда (БТ). Для рассмотренных категорий работников наборы параметров и областей знаний будут отличаться.

Квалификация горнорабочих:

- профессиональная подготовка: выполнение работ по специальности, профессиональная подготовка и переподготовка, применение безопасных приемов при выполнении должностных обязанностей;

- подготовка в области БТ: обучение в области охраны труда, обучение безопасным методам ведения работ, применению средств защиты, получение навыков оценки рисков при выполнении работ и соблюдения правил безопасности.

Профессиональная подготовка ИТР и руководства должна пересекаться с подготовкой в области менеджмента безопасности, что позволит формировать культуру проактивного управления рисками на всех этапах технологического процесса.

Предлагаемая балльная шкала оценки представлена в таблице 4.2, согласно которой по результатам оценки квалификации персонала рассматриваемого подразделения определяется коэффициент безопасного ведения работ.

Таблица 4.2 – Шкала баллов оценки квалификации (составлено автором)

Показатели	Шкала оценки
Профессиональная подготовленность	5-балльная шкала, где 1 – высокий уровень знаний и навыков 5 – низкий уровень знаний и навыков
Уровень знаний в области охраны труда и промышленной безопасности (БТ)	5-балльная шкала, где 1 – несоблюдение стандартных требований в области безопасности 5 – активное внедрение менеджмента безопасности в деятельность

Так, при недостатке знаний при работе с оборудованием внедряются практико-ориентированное обучение на симуляторах, визуальные инструкции и регулярная объективная проверка знаний и навыков [74]. Однако при выявлении данного вида причин среди руководства и ИТР необходимо проводить обучение по менеджменту безопасности труда с разбором «Лестницы безопасности» Хадсона на примере всех структур предприятия.

2. Оценка мотивации

В целях исследования уровня и функционирования существующей системы безопасности предлагается применять оценку зрелости культуры безопасности по модели Патрика Хадсона («Лестница культуры безопасности»), которая может включать индивидуальные интервью, групповые интервью или фокус группы, наблюдения за деятельностью, анкетирование и анализ документации и статистики. Анализ собранных результатов позволит оценить уровень зрелости культуры в целом, выявить проблемные зоны, предложить рекомендации для улучшения [116, 117].

Применение модели зрелости культуры безопасности П. Хадсона предполагает эволюцию от реактивной стадии до проактивной, где безопасность становится ядром корпоративных ценностей [56]. Данная модель включает в себя пять ключевых этапов, каждый из которых характеризуется специфическими признаками и стратегиями управления рисками:

1. Патологическая культура – на данном уровне доминирует вопрос «Кто виноват?». Игнорирование вопросов безопасности, скрывание ошибок из-за страха наказания и восприятие аварий как неизбежных издержек являются характерными

чертами данной культуры. Примером может служить ситуация на добычном участке, где рабочие не используют средства индивидуальной защиты, а в случае травмы начальник перекладывает ответственность на пострадавшего.

2. Реактивная культура – в этой фазе акцент делается на устранении последствий инцидентов. Безопасность воспринимается как формальность, необходимая для прохождения проверок. Примером служит установка систем пожаротушения после возгорания, при этом игнорируется необходимость обновления электрооборудования.

3. Расчётливая культура – на этом уровне внедряются процедуры управления рисками, устанавливаются ключевые показатели эффективности (KPI), проводятся регулярные аудиты. Руководство инвестирует в обучение персонала и современные технологии. Однако мотивация сотрудников часто основана на страхе штрафов, а не на приверженности корпоративным ценностям. Например, установка датчиков газа может быть нивелирована действиями рабочих, отключающих их для повышения производительности или по распоряжениям руководства.

4. Инициативная культура – здесь сотрудники активно участвуют в выявлении и оценке потенциальных угроз, а руководство поддерживает их инициативы. Безопасность становится нормой поведения, и персонал принимает решения, ориентируясь на предотвращение рисков, а не на их устранение после возникновения. Примером может служить приостановка работ при угрозе жизни без страха наказания со стороны руководства.

5. Созидательная культура – на этом высшем уровне безопасность становится неотъемлемой частью компании. Забота о коллегах, подрядчиках и личной безопасности выходит на первый план, при этом компания стремится к внедрению инновационных практик, выходящих за рамки законодательных требований. Руководство активно участвует в формировании и развитии культуры безопасности. Примером может служить практика открытого обсуждения ошибок руководителями подразделений, где топ-менеджеры также активно участвуют в тренингах и образовательных программах.

Шкала оценки мотивации и культуры труда представлена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Шкала баллов оценки уровня мотивации (составлено автором)

Показатели	Шкала оценки
Уровень менеджмента и культуры безопасности на предприятии	5-балльная шкала, выставляется согласно соответствию системы безопасности труда по модели П. Хадсона

Необходимый уровень мотивации и положительное отношение к безопасности достигается за счет приверженности к безопасному труду на всех уровнях управления технологическим процессом [82, 83], за счет поощрения команд и работников за показатели в области безопасности. С точки зрения руководства, безопасный труд может быть невыгодным, может приводить к снижению производительности, но грамотный расчет будущих рисков и потерь и понимание последствий руководством позволит избежать данного заблуждения, что достигается путем постоянного обучения в области риск-менеджмента [49, 50, 77].

3. Оценка психофизиологических показателей

Одним из самых сложных видов причин являются психофизиологические, поскольку провоцируются индивидуальными показателями человека и с трудом поддаются контролю [62, 70]. Риск ошибок снижается при соблюдении режима труда и отдыха, создании благоприятного психологического климата, программ поддержки работников, четких процедур по отстранению от работы сотрудников в неадекватном состоянии, сильном переутомлении или проблемах со здоровьем; также, число ошибок может быть снижено за счет грамотного профессионального отбора, когда при выборе кандидата на должность учитываются уровень риска на рабочем месте и склонность к опасным действиям респондента.

Чтобы оценить влияние показателей эффективности деятельности персонала и влияние психофизиологии на качество работы, был проведён анонимный опрос с добровольного письменного согласия респондентов [135].

Выбор методов был обусловлен возможностью проведения оценки без использования специализированного оборудования. Следовательно, эти методы могут быть эффективно интегрированы в процедуру получения разрешений на посменную работу:

1 метод – Дифференцированная оценка работоспособности и стресса (ДОРС) – это систематическая методика, разработанная для оценки динамических изменений в работоспособности, эффективности работы и скорости принятия решений. Эта методика оценки включает в себя комплексный анализ четырёх ключевых факторов: монотонности, усталости, небрежности и уровня стресса.

2 метод – Оценка скорости переработки зрительной информации по корректурной пробе – тест «Кольца Ландольта». Метод относится к группе бланковых тестов, с помощью которых оценивается уровень внимания, утомляемости, работоспособности, устойчивости к монотонной деятельности.

В сочетании с оценкой скорости обработки зрительной информации с помощью теста Ландольта ДОРС обеспечивает подробный анализ показателей производительности. Это включает в себя точное восприятие и обработку информации в соответствии с заранее заданными критериями. Методика также позволяет определить способность человека поддерживать необходимый уровень производительности в течение длительного времени без существенной усталости, которая может негативно сказаться на скорости и точности его действий.

Опрос проводился анонимно среди сотрудников горнодобывающей отрасли. Впоследствии собранные данные опроса были тщательно проанализированы и сведены в базу данных, на которую получен патент (приложение Б) [102, 135]. Было установлено, что снижение показателей ДОРС коррелирует с уменьшением времени зрительной реакции человека на поступающие стимулы (рисунок 4.1).

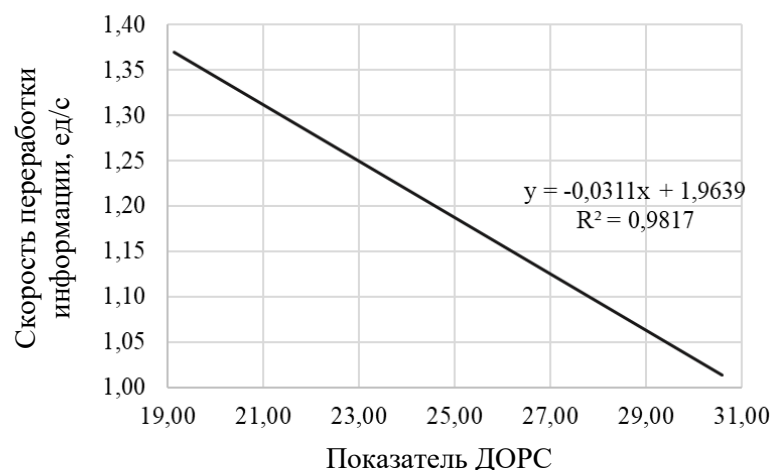


Рисунок 4.1 – Скорость обработки информации при снижении показателей ДОРС (составлено автором)

Следовательно, точность и эффективность принятия решений во время выполнения рабочих процессов имеют решающее значение для обеспечения безопасности.

Был проведён корреляционный анализ для изучения взаимосвязи между набором показателей ДОРС и количеством ошибок, выявленных в ходе тестирования (рисунок 4.2).

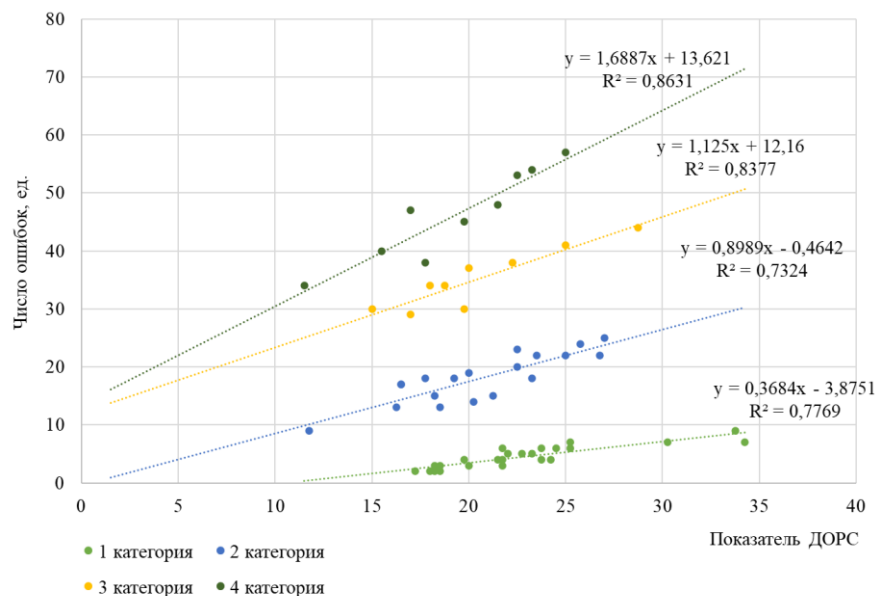


Рисунок 4.2 – Распределение частоты ошибок при ухудшении показателей ДОРС (составлено автором)

Рисунок 4.2 показывает, что по мере снижения показателей производительности частота ошибок увеличивается. Кроме того, было замечено, что у сотрудников со стабильными механизмами саморегуляции значительный уровень усталости приводит к незначительному увеличению количества ошибок. Поэтому предлагается классифицировать персонал на 4 уровня психофизиологических (ПФ) параметров, где

1 категория работников – возможность выполнять работу безошибочно даже в критических и высокорискованных ситуациях;

2 категория работников – возможность выполнять работу эффективно, при наличии внешнего вредного и опасного воздействия, за исключением критических ситуаций;

3 категория работников – возможность выполнять общую работу, при минимальных рисках и скорости выполнения;

4 категория работников – работник не в состоянии корректно выполнять любую поставленную задачу.

Оценка склонности к риску, на примере теста Шуберта «Готовность к риску», отражает психологическую склонность человека к принятию риска. Результаты интерпретируются по шкале: низкий, средний или высокий уровень готовности к риску. Низкий уровень говорит о склонности избегать неопределённости, высокий – о стремлении к новым и непредсказуемым ситуациям, средний – о умеренном, гибком подходе к риску.

При оценке психофизиологических характеристик и склонности к риску выставляются баллы согласно таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Шкала баллов оценки психофизиологических показателей персонала (составлено автором)

Показатели	Шкала оценки
Психофизиологический потенциал	4-балльная шкала, где 4 – высокий уровень ПФ характеристик 1 – низкий уровень ПФ характеристик
Склонность к риску	3-балльная шкала, где 3 – высокая склонность к риску 1 – низкая склонность к риску

Грамотный подбор персонала, согласно их психофизиологическим характеристикам и склонности к риску, а также уровню риска на рабочем месте и условиям труда, позволят эффективно распределять трудовые ресурсы, в зависимости от особенностей работников.

4. Оценка обеспечения труда персонала

При оценке обеспечения работников следует анализировать наличие экономии на безопасности, эффективность системы технического обслуживания и ремонта, уровень системы снабжения и выполнение предписаний при проведении производственного аудита безопасности и трехступенчатого контроля во всех подразделениях предприятия. Данные меры позволят не только снизить риски, но и выявлять систематические и случайные недостатки в работе технологического процесса.

Реализация данного подхода также может обеспечиваться разработкой стандартных перечней должностных обязанностей, обязательных к выполнению сотрудником на данной должности, с оценкой эффективности его деятельности. В результате, эффективное предусмотрительное выполнение обязанностей позволит своевременно обеспечить работу подземного персонала.

Баллы в данном случае будут выставляться согласно проценту выполнения стандартных должностных обязанностей и оценке потребностей персонала, на который они направлены (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Шкала баллов оценки обеспечения работников (составлено автором)

Показатели	Шкала оценки
Оценка выполнения обязательных требований должностной инструкции	5-балльная шкала, где 1 – выполнение всех операций 5 – низкий процент выполнения операций
Оценка соответствия механизмов, рабочих мест, проходов, выработок и т.д. нормативным требованиям	5-балльная шкала, выставляется в зависимости от количества установленных нарушений

Такой анализ позволяет перейти от поиска виновного работника к диагностике системных сбоев в управлении, в том числе в области охраны труда. Рассмотренные аспекты могут проявляться на всех уровнях принятия решений в иерархической структуре предприятия, но последствия будут различными. Так, при травмировании наиболее частой причиной указывается личная неосторожность работника, но в зависимости от правильности анализа ситуации может быть установлена первопричина его действий, которые будут обусловлены проявлением одной или нескольких ключевых причин среди вышестоящих сотрудников.

4.2 Апробация метода оценки профессионального риска, основанного на учете ошибочных действий персонала

Апробация разработанной модели (рисунок 3.9) продемонстрировала, что нарушения, совершаемые горнорабочими, оказывают минимальный эффект на уровень риска травматизма среди работников. Внедрение комплекса мероприятий, направленных на минимизацию негативных действий исполнителей, способно снизить вероятность травматизма, однако не окажет существенного влияния на

общую систему безопасности. В результате первопричины НС, связанные с управленческими решениями руководства и действиями инженерно-технического персонала, останутся вне зоны воздействия принятых мер.

Внедрение комплексных мероприятий, направленных на улучшение системы безопасности труда, позволит снизить количество первопричин нарушений со стороны руководства и ИТР, в результате чего нарушения со стороны исполнителей снизятся при организации и внедрении мероприятий по развитию системы безопасности.

Из полученных графиков, рисунок 3.9, видно, что наибольшее отклонение от оси абсцисс имеет график зависимости от нарушений и неверных решений руководства, что свидетельствует о наибольшем воздействии на риск травмирования горнорабочих и о большей вероятности наступления тяжелых травм. При этом действия руководства имеют наименьшую частоту реализации и для некоторых шахт почти не проявляют своего воздействия. Проведенный корреляционно-регрессионный анализ выборок данных для шести анализируемых шахт АО «СУЭК-Кузбасс», согласно формулам (3.9-3.19), позволил установить значимость ошибочных действий руководства в структуре предприятий (таблица 4.6 и рисунок 4.3).

Таблица 4.6 – Учет влияния ошибочных действий на уровне руководства на риск травмирования работников (составлено автором)

Предприятие	Коэффициент корреляции	p-значение	t-критерий (расчет./табл.)	Коэффициент детерминации
Шахта «Им. В.Д. Ялевского»	0,345	0,298	1,1/2,23	0,119
Шахта «Талдинская-Западная-1»	0,515	0,104	1,8/2,23	0,265
Шахта «Талдинская-Западная-2»	0,262	0,437	0,81/2,23	0,068
Шахта «Им. С.М. Кирова»	0,316	0,34	1,0/2,23	0,068
Шахта «Комсомолец»	0,889	0,00002	6,74/2,23	0,791
Шахта «Им. А.Д. Рубана»	0,017	0,96	0,05/2,23	0,0003

Согласно полученным значениям коэффициентов, статистически значимое влияние ошибочных действий руководства на риск травмирования персонала наблюдается только на шахте «Комсомолец», что необходимо учитывать при разработке превентивных мероприятий.

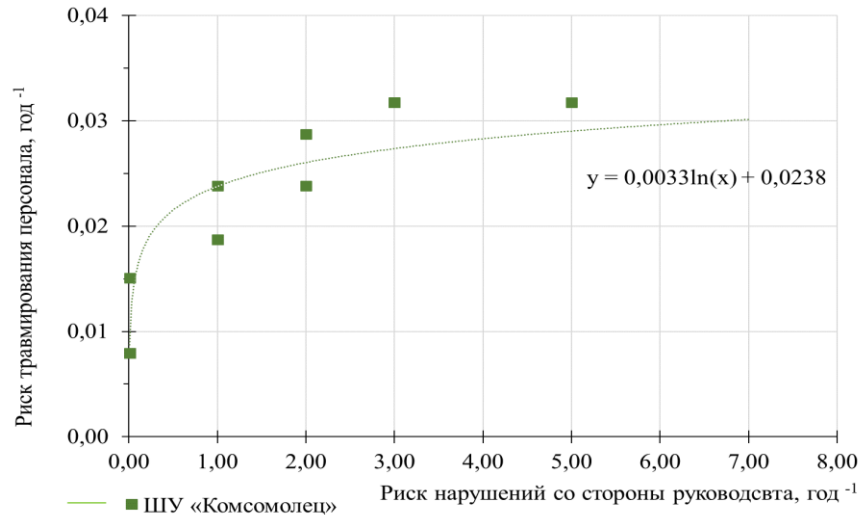


Рисунок 4.3 – Зависимость риска травмирования работников от частоты воздействия человеческого фактора на уровне руководства (составлено автором)

В то же время наименьшее воздействие на риск травмирования имеют ошибки горнорабочих. Также, их действия имеют наименьший риск развития тяжелых травм при средней частоте реализации событий (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Учет влияния ошибочных действий на уровне исполнителей на риск травмирования работников (составлено автором)

Предприятие	Коэффициент корреляции	p-значение	t-критерий (расчет./табл.)	Коэффициент детерминации
Шахта «Им. В.Д.Ялевского»	0,903	0,00013	6,32/2,23	0,816
Шахта «Талдинская-Западная-1»	0,405	0,21	1,33/2,23	0,164
Шахта «Талдинская-Западная-2»	0,416	0,20	1,37/2,23	0,174
Шахта «Им. С.М. Кирова»	0,836	0,00019	5,27/2,23	0,698
Шахта «Комсомолец»	0,888	0,00002	6,69/2,23	0,788
Шахта «Им. А.Д. Рубана»	-0,323	0,33	-1,02/2,23	0,105

Статистически значимое влияние ошибочных действий горнорабочих на риск травмирования персонала наблюдается на шахтах «Комсомолец», «Им. С.М. Кирова» и «Им. В.Д. Ялевского» (рисунок 4.4).

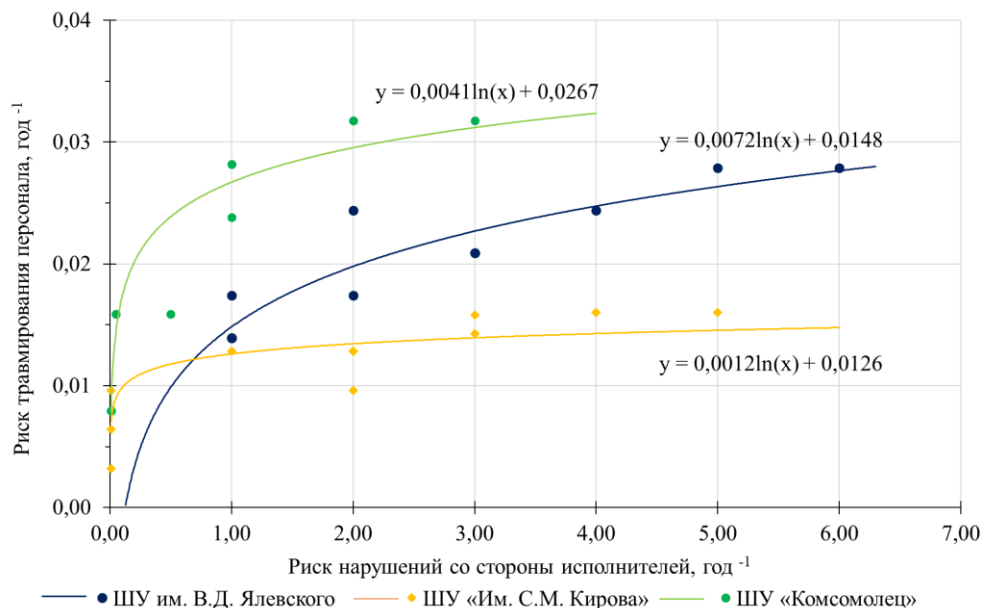


Рисунок 4.4 – Зависимость риска травмирования работников от частоты воздействия человеческого фактора на уровне исполнителей (составлено автором)

Однако на шахте «Им. С.М. Кирова» наблюдается систематическая природа ошибок горнорабочих, которая не приводит к существенному увеличению риска травм, как это видно из представленного графика. Согласно значению коэффициента детерминации, математическая модель объясняет полученные значения менее чем на 70%, остальное определяется стохастическими случайными или неучтенными переменными. Следовательно, в последующих расчетах и разработке мер по улучшению безопасности на шахте «Им. С.М. Кирова» ошибки горнорабочих должны рассматриваться не в единой системе с другими группами работников, а как отдельные факторы, требующие детального анализа причин их возникновения и возможностей минимизации.

Наибольшее значение при травмировании персонала имеет реализация обеспечения основного технологического процесса за счет деятельности ИТР (таблица 4.8 и рисунок 4.5).

Таблица 4.8 – Учет влияния ошибочных действий на уровне ИТР на риск травмирования работников (составлено автором)

Предприятие	Коэффициент корреляции	р-значени е	t-критерий (расчет./табл.)	Коэффициент детерминации
Шахта «Им. В.Д. Ялевского»	0,9428	0,000014	8,48/2,23	0,9268
Шахта «Талдинская-Западная-1»	0,8739	0,0004	5,39/2,23	0,8366
Шахта «Талдинская-Западная-2»	0,9211	0,00005	3,62/2,23	0,8331
Шахта «Им. С.М. Кирова»	0,9493	0,000008	9,06/2,23	0,9109
Шахта «Комсомолец»	0,9449	0,00078	4,96/2,23	0,9362
Шахта «Им. А.Д. Рубана»	0,8557	0,000012	8,66/2,23	0,8214

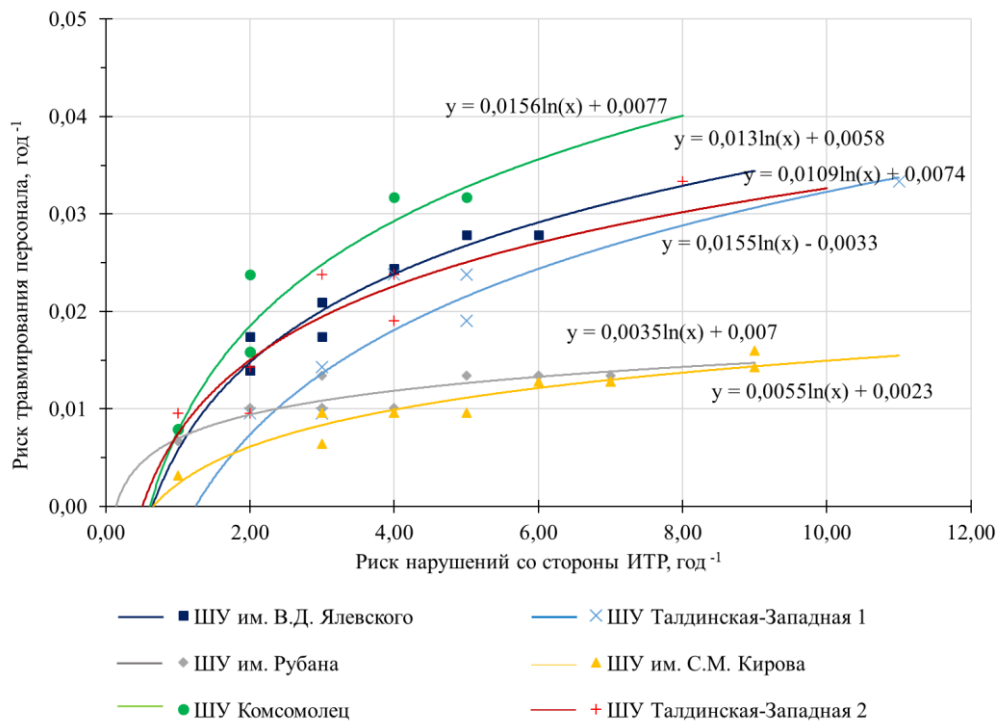


Рисунок 4.5 – Зависимость риска производственного травматизма от риска воздействия человеческого фактора на уровне ИТР (составлено автором)

Ошибки и нарушения со стороны ИТР являются ключевым фактором, обуславливающим до 90% случаев травматизма среди персонала. Более того, частота травмирования ИТР при проведении подземных работ значительно превышает средние показатели за последние десять лет среди представителей других профессий и сопоставима с уровнем травматизма среди специалистов, занимающихся проходкой горных выработок (рисунок 1.6).

Полученные значения риска и наиболее значимые группы персонала для исследуемых шахт приведены в таблице 4.9.

Коэффициент детерминации для каждой из рассмотренных шахт, рассчитываемый по формуле 3.15, превышает 0,85. В результате доля дисперсии риска производственного травматизма рассматриваемой модели зависит от установленной частоты воздействия исследуемых групп персонала более чем на 85 %. Исключением являются шахты «Им. А.Д. Рубана» и «Талдинская-Западная-1», где коэффициент детерминации составляет более 70%.

Таблица 4.9 – Оценка риска травмирования работников в зависимости от ошибочных действий групп персонала (составлено автором)

Предприятие	Регрессионное уравнение	Уровень риска, год ⁻¹	Группа персонала
Шахта «Им. В.Д. Ялевского»	$R_{\text{тр}}^{\text{Общ}} = -0,00016 + 0,00015 \cdot R_{\text{чф}}^{\Gamma} + 0,000053 \cdot R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} + 0,000046$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	горнорабочие и ИТР
Шахта «Комсомолец»	$R_{\text{тр}}^{\text{Общ}} = -0,0000029 + 0,0000031 \cdot R_{\text{чф}}^{\Gamma} + 0,0000031 \cdot R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} + 0,0000047 \cdot R_{\text{чф}}^{\text{P}} + 0,0000011$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	все группы
Шахта «Им. С.М. Кирова»	$R_{\text{тр}}^{\text{Общ}} = 0,0035 + 0,0013 \cdot R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} + 0,0012$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	ИТР
Шахта «Им. А.Д. Рубана»	$R_{\text{тр}}^{\text{Общ}} = 0,0069 + 0,0011 \cdot R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} + 0,0014$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	ИТР
Шахта «Талдинская-Западная-1»	$R_{\text{тр}}^{\text{Общ}} = 0,0059 + 0,0027 \cdot R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} + 0,0027$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	ИТР
Шахта «Талдинская-Западная-2»	$R_{\text{тр}}^{\text{Общ}} = 0,0069 + 0,0035 \cdot R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} + 0,0031$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	ИТР

При проверке модели по методу остатков получаем, что они не коррелируют между собой, то есть отсутствует место постоянного однонаправленного воздействия неучтённых и исключённых факторов на риск травмирования работников.

Ранжирование шахт по наиболее значимому параметру воздействия осуществляется на основе определения уровня статистической значимости вероятности воздействия ошибок ИТР в четырех рассмотренных направлениях по формуле 3.4 (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Построение регрессионных моделей согласно значимости направлений ошибочных действий ИТР для рассмотренных шахт (составлено автором)

Анализируемая шахта	Уравнение регрессии	р-значение	t-критерий (расч./табл.)	F-критерий (расч./табл.)
Шахта «Им. В.Д. Ялевского»	$R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} = 0,59X_2 + 0,49$	X_2 0,0172	3,2/2,2	8,25/3,36
Шахта «Галдинская-Западная-1»	$R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} = 0,98X_1 + 2,69X_3 - 0,33$	X_1 0,0458	4,5/2,2	522,6/3,36
		X_3 0,0078	11,2/2,2	
Шахта «Галдинская-Западная-2»	$R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} = 0,37X_1 + 1,65X_4 - 0,156$	X_1 0,0019	5,2/2,2	7,43/3,36
		X_4 0,0094	4,7/2,2	
Шахта «Им. С.М. Кирова»	$R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} = 0,865X_2 + 0,605X_3 + 0,08$	X_2 0,0020	3,3/2,2	29,5/3,36
		X_3 0,0494	2,8/2,2	
Шахта «Комсомолец»	$R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} = 2,275X_3 + 0,054$	X_3 0,0019	3,9/2,2	4,25/3,36
Шахта «Им. А.Д. Рубана»	$R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} = 0,87X_2 + 0,24X_3 + 0,38X_4 + 0,027$	X_2 0,0004	6,9/2,2	273,1/3,36
		X_3 0,0046	4,4/2,2	
		X_4 0,0091	3,8/2,2	

Таким образом, на основании статистических данных определяется влияние групп персонала на риск травмирования персонала, согласно которому разрабатываются адресные мероприятия для наиболее значимых групп. В рассмотренных условиях действия ИТР оказываются решающими. При этом внедрение мероприятий, направленных на снижение указанных действий позволят снизить в том числе влияние исполнителей на безопасность труда в связи с улучшением их условий труда.

4.3 Рекомендации по внедрению и управлению человеческим фактором на угольных шахтах

Эффективность системы обеспечения безопасности труда на предприятии определяется уровнем интеграции превентивных мер, направленных на идентификацию и минимизацию рисков в наиболее уязвимых звеньях производственного процесса. Данный подход предполагает систематическое применение аналитических методов и инструментов для выявления потенциальных угроз, а также разработку и внедрение комплексных решений, направленных на снижение вероятности возникновения травм (рисунок 4.6).

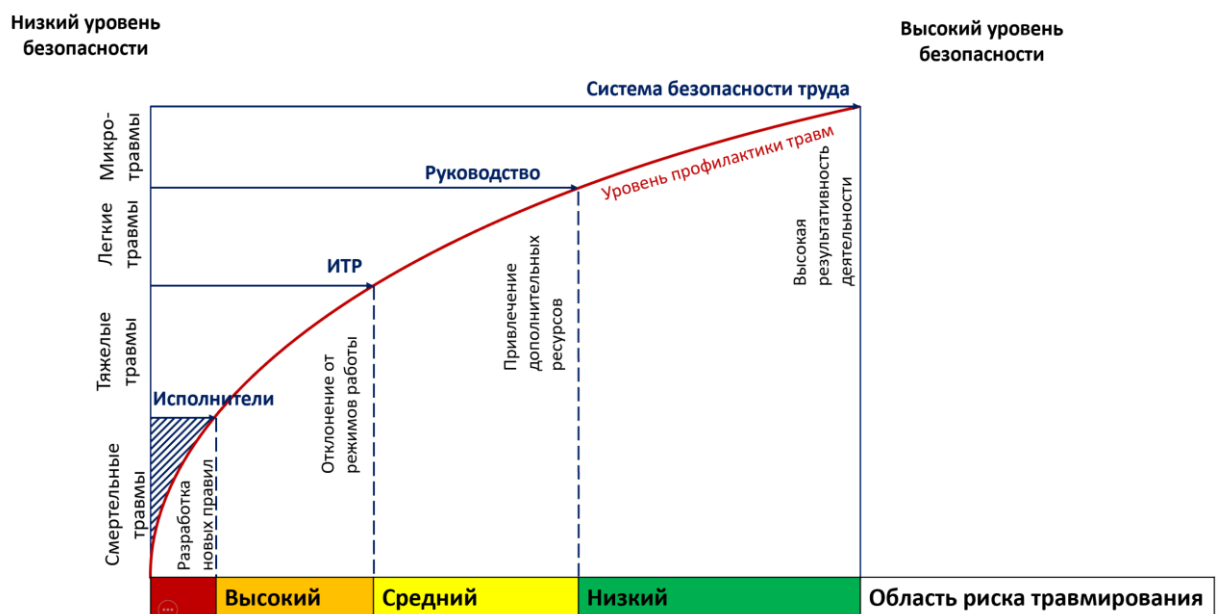


Рисунок 4.6 – Закономерность влияния персонала на уровень травматизма (составлено автором)

Как представлено на рисунке 4.6, уровень профилактики травм достигается за счет функционирования системы безопасности труда во всех структурах предприятия.

Рассмотренные ключевые причины могут проявляться на всех уровнях принятия решений в иерархической структуре предприятия, например, для шахты «Комсомолец», на которой значимыми являются ошибки персонала на всех уровнях управления технологическим процессом, но последствия их реализации будут различными. Разработанный алгоритм оценки и подбора адресных мероприятий позволяет предупреждать негативное воздействие человеческого

фактора во всех структурах предприятия, а также проводить ранжирование наиболее значимых направлений принятия решений и разрабатывать план по улучшению системы безопасности в подразделении, на объекте и на предприятии в целом.

Апробация полученной многофакторной регрессионной модели позволила выполнить ранжирование наиболее значимых структурных подразделений для каждой из действующих шахт, ошибки которых чаще всего приводят к травмированию работников основного технологического процесса (таблица 4.11).
Таблица 4.11 – Ранжирование первопричин воздействия человеческого фактора по значению коэффициент безопасного ведения работ персоналом К (составлено автором)

Анализируемая шахта	Целевая группа персонала	Квалификация	Мотивация	Психофизиология	Обеспечение
Шахта «Им. В.Д. Ялевского»	Горнорабочие	0,0004	0,006	0,075	0,006
	ИТР (Обустройство РМ)	0,006	0,006	0,005	0,08
Шахта «Талдинская-Западная-1»	ИТР (Состояние машин и механизмов)	0,006	0,0004	0,075	0,08
	ИТР (Обеспечение работников)	0,006	0,08	0,005	0,006
Шахта «Талдинская-Западная-2»	ИТР (Состояние машин и механизмов)	0,006	0,006	0,005	0,08
	ИТР (Организация тех. процессов)	0,08	0,006	0,075	0,006
Шахта «Им. С.М. Кирова»	ИТР (Обустройство РМ)	0,006	0,0004	0,005	0,08
	ИТР (Обеспечение работников)	0,08	0,0004	0,005	0,006
Шахта «Комсомолец»	Горнорабочие	0,0004	0,0004	0,075	0,006
	ИТР (Обеспечение работников)	0,08	0,006	0,005	0,08
	Руководство	0,006	0,08	0,005	0,0004
Шахта «Им. А.Д. Рубана»	ИТР (Обеспечение работников)	0,0004	0,006	0,005	0,0004
	ИТР (Обустройство РМ)	0,006	0,08	0,005	0,006
	ИТР (Организация тех. процессов)	0,08	0,006	0,075	0,006

Показатель профессионального риска травмирования работника является функцией от частоты воздействия человеческого фактора, при его определении

необходимо учитывать высокие и чрезмерно высокие значения коэффициент безопасного ведения работ персоналом K для каждой группы работников по формуле:

$$K_i = \max (K_M; K_K; K_{пф}; K_0) \quad (4.2)$$

где i – рассматриваемая группа персонала.

В результате, прогнозные значения риска рассчитываются по формуле (4.3):

$$R_{\text{прог}} = a_0 + a_1 \cdot K_{\Gamma} \cdot R_{\text{чф}}^{\Gamma} + a_2 \cdot K_{\text{ИТР}} \cdot R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} + a_3 \cdot K_{\text{Р}} \cdot R_{\text{чф}}^{\text{Р}} + e \quad (4.3)$$

Сравнение полученных и рекомендуемых значений показателя риска приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Оценка риска негативного воздействия групп персонала (составлено автором)

Предприятие	Статистический уровень риска $R_{\text{тр}}^{\text{Общ}}, \text{год}^{-1}$	Минимальный прогнозный уровень риска $R_{\text{прог}}, \text{год}^{-1}$	Допустимый уровень риска $R_{\text{доп}}, \text{год}^{-1}$
Шахта «Им. В.Д. Ялевского»	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Шахта «Комсомолец»	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	
Шахта «Им. С.М. Кирова»	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	
Шахта «Им. А.Д. Рубана»	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	
Шахта «Талдинская-Западная-1»	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	
Шахта «Талдинская-Западная-2»	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	

Для ИТР вопросы квалификации и мотивации тесно связаны, поскольку характеризуются знанием и применением современных способов менеджмента безопасности и охраны труда, что позволяет не только соблюдать правила, но и поддерживать необходимую культуру среди работников наземного и подземного комплексов. Таким образом, при недостаточной квалификации и мотивации ИТР отделов необходимо проводить обучение менеджменту и культуре безопасности труда с применением современных моделей управления, в частности, модели П. Хадсона с рассмотрением сильных и слабых сторон системы управления.

В более 30% анализируемых случаев работники не имели необходимых средств или условий ведения работ, в результате чего получали травмы. ИТР, в свою очередь, не могут обеспечить необходимыми средствами и условиями нижестоящих работников, которые вынуждены выполнять работы подручными средствами. Вопросы обеспечения работников оцениваются при постоянном мониторинге наличия средств ведения работ для всех групп персонала или для проводимых/планируемых к проведению работ, а также проведении предупредительных работ по анализу выработок, проходов и проемов на предмет возможности выполнения необходимого вида работ, например, по перемещению машин и установок или выполнению ремонтных работ.

Внедрение мероприятий позволит снизить прогнозируемые значения риска в таблице 4.12 до допустимых значений при снижении значения К для мотивации, квалификации и обеспечения до 0,0004, для психофизиологии до 0,00025. Таким образом, необходимо внедрять адресные мероприятия по порядку уменьшения значимости для всех выявленных причин ошибочных действий.

4.4 Оценка экономической и технологической эффективности использования предлагаемого метода

Точный расчет экономических потерь предприятия в результате возникновения аварии или НС затруднен, так как должен учитывать большое число факторов и последствий, а также вид НС, степень тяжести, количество пострадавших и т.д. Приближенно можно подсчитать убытки предприятия, связанные с травматизмом, если суммировать расходные статьи на возмещение материального ущерба пострадавшим, затраты на восстановление прежнего режима работы, а также отчисления в Фонд социального страхования (ФСС). Существует несколько методов расчета экономического ущерба от травматизма:

1) *расчет экономического ущерба* позволяет найти зависимость экономических потерь от количества N НС, числа дней нетрудоспособности D и средней заработной платы (ЗП) b по следующей формуле:

$$П = (0,6 \cdot N + 1,28 \cdot D)b + 8N \quad (4.4)$$

2) *укрупненная оценка экономических потерь* позволяет учитывать число потерянных рабочих дней D и среднюю ЗП за один рабочий день M по формуле:

$$П = 1,5 \cdot M \cdot D \quad (4.5)$$

где: 1,5 - коэффициент неучтенных потерь.

3) *оценка потерь предприятия в результате НС* учитывает прямые и косвенные затраты, а также объем недополученной продукции, что позволяет наиболее детально рассмотреть и оценить различные виды расходов.

Поскольку экономические потери тесно связаны с обстоятельствами НС, количеством пострадавших, степенью тяжести травм, величиной изменений и отклонений от технологического процесса и другими показателями, экономические потери предприятия в связи с травматизмом можно оценить по ряду расходных статей, учитываемых при оценке несчастного случая (таблица 4.13).

Таблица 4.13 – Статьи экономической оценки при НС (составлено автором)

Вид затрат	Статьи затрат
В день происшествия	- ЗП пострадавшего в день НС; - затраты на транспортировку пострадавшего;
Нарушение режима работы	- ЗП отвлеченных работников с начисленными на нее страховыми взносами; - восстановление безопасных условий труда;
Упущенная прибыль	- упущенная прибыль в день НС и в период нарушения режима работы;
Материальный ущерб	- порча оборудования, инструментов, сырья, материалов, готовой продукции, разрушение зданий и сооружений; - ремонтные и наладочные работы по ликвидации последствий НС;
Реорганизация производственного процесса	- замена средств труда (ремонт/полная замена); - оплата сверхурочной работы или с начислением страховых взносов на период нетрудоспособности работника; - расходы на организацию надлежащих УТ после НС;
Затраты на расследование НС	- работа членов комиссии; - работа экспертов и проведение экспертиз; - командировочные расходы в связи с расследованием;
Мероприятия по предупреждению НС	- внеплановые инструктажи; - ликвидация причин НС; - судебные расходы и оплата услуг юристов;

Продолжение таблицы 4.13.

Вид затрат	Статьи затрат
Лечение и реабилитация пострадавшего	<ul style="list-style-type: none"> - оплата медицинских процедур, лечения, медикаментов; - оплата медицинского обеспечения; - оплата реабилитации и санаторно-курортного лечения;
Перевод пострадавшего на более легкую работу	<ul style="list-style-type: none"> - оплата переобучения; - выплата ЗП на более легкой работе в полном размере;
В результате смертельного НС, группового смертельного НС	<ul style="list-style-type: none"> - выплаты семье пострадавшего; - затраты на обеспечение членов семьи погибшего при поездке на опознание тела; - затраты на доставку тела к месту захоронения;
Условные потери производства	<ul style="list-style-type: none"> - потери для легких НС на производстве без замещения работника; - потери для тяжелых НС на производстве или НС на производстве со смертельным исходом; - потери при отсутствии сотрудников, выполняющих дублирующие функции; - потери при отвлечении от работы других работников;
Выплата штрафов	<ul style="list-style-type: none"> - за нарушения трудового законодательства; - за нарушение сроков поставки произведенной продукции или услуг в результате НС;
Потери организации, связанные с реализацией законодательства в области безопасности труда	<ul style="list-style-type: none"> - потери при сокращении суммы вычета из суммы страхового взноса; - надбавка к страховому тарифу на следующий за отчетным год; - оплата мероприятий по ОТ из собственных средств;
Финансовые потери организации, связанные с реализацией законодательства Российской Федерации об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного производственного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте.	

Экономические затраты предприятия напрямую связаны с тяжестью травмы. При легких травмах выплаты ограничиваются компенсацией листа нетрудоспособности и затрат на компенсацию работы комиссии по расследованию НС.

Предприятие несет значительные затраты при тяжелом травмировании работников. Тяжелые травмы могут серьезно сказаться на здоровье и жизни работника (любые ожоги, переломы, потеря крови на 20% и более,

черепно-мозговые травмы, предотвращение смерти, нарушения психики и другие). При реализации тяжелой травмы затраты работодателя направлены на обеспечение медицинской помощи, расследование НС, восстановление прежнего режима работ, обеспечение безопасности на рабочих местах и т.д.

Длительность восстановления после тяжелых травм значительно превышает период реабилитации при легких травмах, что компенсируется выплатой за оказанную медицинскую помощь и выплатами по листу нетрудоспособности. Также работнику могут назначить единоразовую и ежемесячные выплаты от Социального фонда России (СФР) после того, как будет получено заключение медико-санитарной экспертизы. Суммы рассчитывают в СФР исходя из среднего заработка и процента потери трудоспособности.

Также, при частичной или полной утрате трудоспособности работодатель переводит работника на подходящую должность с сохранением заработной платы.

При смертельном НС работодатель обязан обеспечить доставку родственников к телу пострадавшего, в том числе проезд и проживание на период расследования НС, компенсацию похорон. Родственникам пострадавшего выплачивается компенсация в результате смертельного НС или группового смертельного НС.

Групповые НС в результате аварий могут привести ко всем видам травм; оценка экономических потерь при групповом НС в результате аварии будет включать статьи расходов по всем рассматриваемым видам травм, установленным в результате расследования.

Федеральный закон N 125-ФЗ [98] регулирует обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, а также порядок возмещения вреда жизни и здоровью работников при исполнении ими трудовых обязанностей.

Отчисления в СФР проводятся ежегодно с учетом специфики трудовой деятельности и вида выпускаемой продукции предприятия. В целях расчета суммы отчислений определяются класс профессионального риска предприятия и страховые тарифы, которые имеют прямую зависимость от уровня риска и

величины страховых взносов на обязательное социальное страхование от НС на производстве и профессиональных заболеваний.

Работодатели обязаны ежемесячно отчислять страховые взносы в соответствии с тарифами, установленными законодательством Российской Федерации. Эти взносы предназначены для защиты работников в случае получения ими травмы на производстве или профессионального заболевания. Взносы уплачиваются за каждого сотрудника индивидуально и осуществляются только после наступления страхового случая.

При средней заработной плате в сфере добычи угля, согласно данным Кемеровостата [106], в размере 115 тысяч рублей в месяц, следует принимать во внимание обязательные отчисления работодателя в Социальный фонд России. Согласно классификатору профессионального риска [93, 97], предприятия угольной промышленности относятся к самому высокому 32 классу, которому работодатель обязан отчислять 8,5 % от установленной базы на каждого работника, в которую входит выплата физическому лицу нарастающим итогом за вычетом сумм, необлагаемых взносом. В частности, сумма, направляемая на формирование страховых взносов для каждого работника, составляет 8,5 % от средней заработной платы, что эквивалентно приблизительно 9 775 рублей ежемесячно [97]. Численность персонала на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» варьируется от 200 до 1 500 человек, поэтому годовые отчисления предприятий в фонд варьируясь в диапазоне от 2 до 15 миллионов рублей.

Согласно нормативно-правовым актам [98], регулиующим порядок и размеры страховых взносов, их величина может подвергаться корректировке, но не более чем на 40 % от базового значения. Применение данной корректировки зависит от уровня производственного травматизма, а именно от отсутствия смертельных НС на производстве в предшествующем отчетном периоде. В случае их возникновения, право на получение скидки утрачивается.

4.5 Выводы к главе 4

В исследовании были рассмотрены четыре ключевые причины ошибок персонала: низкая квалификация, мотивация, психофизиологические особенности и недостаточное обеспечение трудовой деятельности. Оценка значимости указанных категорий причин проводилась с применением экспертного метода оценки Т. Саати для работников различных уровней управления технологическим процессом. В результате получено, что более 50 % причин ошибочных действий горнорабочих связаны с недостаточным обеспечением труда, в то время как 20 % приходится на психофизиологические особенности персонала.

Среди основных причин ошибок ИТР и руководства были выделены низкая квалификация и мотивация, на которые приходится в среднем по 40 % причин ошибок. Рассмотренные причины на уровне принятия решений среди ИТР и руководства формируются за счет знания и грамотного применения менеджмента и культуры безопасности труда.

Разработанный метод оценки риска с учетом человеческого фактора позволяет осуществлять прогноз влияния ошибочных действий персонала во всех структурах предприятия, которые могут быть использованы в целях количественной оценки, а также в качестве критерия оценки значимости наиболее опасных областей деятельности персонала, в которых ошибки недопустимы. В целях снижения статистического и прогнозируемого рисков травмирования работников со средними значениями для рассмотренных шахт $4,4 \cdot 10^{-3}$ и $2,7 \cdot 10^{-4}$ соответственно до допустимого значения $2,1 \cdot 10^{-5}$ рекомендуется рассмотреть наиболее значимые структурные подразделения (таблица 4.11).

Так, согласно расчету коэффициента безопасности К для рассмотренных шахт, снижение риска травмирования персонала на шахте «Им. В.Д. Ялевского» может быть достигнуто за счет улучшения качества обеспечения персонала, в том числе при организации проходов, проездов и рабочих мест, в то время как на шахте «Комсомолец» – за счет создания высокого уровня культуры безопасности труда среди руководства и ИТР, что также позволит повысить квалификацию и обеспечение горнорабочих.

Таким образом, выбор адресных мероприятий по снижению производственного травматизма на угольных шахтах следует осуществлять на основе сравнительной динамики риска производственного травматизма с учетом причин ошибочных действий персонала на различных уровнях управления технологическим процессом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации содержится решение актуальной задачи по оценке влияния человеческого фактора на профессиональный риск травмирования персонала угледобывающих предприятий.

Основные научные выводы и практические рекомендации заключаются в следующем:

1. Установлена вероятность возникновения ошибочных действий среди групп персонала различного уровня управления технологическим процессом. Получена корреляционная зависимость между возникновением ошибочных действий и риском травмирования работников при реализации организационных [$r = 0,97$, $R^2 = 0,94$], технических [$r = 0,96$, $R^2 = 0,92$] и горно-технологических причин [$r = 0,99$, $R^2 = 0,99$].

2. Выполнен анализ ошибок среди групп персонала различного уровня управления технологическим процессом, по результатам которого установлено, что реализация травмоопасных событий в результате воздействия горно-технологических, технических и организационных причин зависит от иерархии воздействия человеческого фактора в структуре компании, согласно которой необходимо оценивать значимость деятельности горнорабочих, инженерно-технических работников и руководителей производства.

3. Разработан метод оценки профессионального риска, учитывающий влияние вероятности возникновения ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководителей производства. Метод основан на оценке корреляционно-регрессионной зависимости риска травмирования работников угольных шахт от вероятности ошибочных действий горнорабочих [$r = 0,93$, $R^2 = 0,75$], ИТР [$r = 0,96$, $R^2 = 0,98$] и руководства [$r = 0,93$, $R^2 = 0,87$]. По предложенной математической модели установлено, что для рассмотренных шахт первопричиной травмирования подземного персонала становится деятельность инженерно-технических работников, которая оказывает негативное воздействие на причины травматизма в более 60% случаев. Выявлены наиболее значимые направления реализации ошибочных действий ИТР, согласно

которым необходимо разрабатывать адресные мероприятия по снижению негативного воздействия человеческого фактора.

4. Разработаны и обоснованы адресные мероприятия по предупреждению реализации причин возникновения ошибочных действий ИТР. Для оценки эффективности мероприятий предложено учитывать коэффициент безопасности K , который позволяет оценивать эффективность применяемых мероприятий, направленных на предупреждение причин ошибочных действий. Внедрение мероприятий позволит снизить статистический и прогнозируемый риски травмирования работников со средними значениями для рассмотренных шахт $4,4 \cdot 10^{-3}$ и $2,7 \cdot 10^{-3}$ соответственно до допустимого значения $2,1 \cdot 10^{-5}$.

Дальнейшее развитие темы диссертации предполагает более подробный анализ человеческого фактора для выявления показателей, влияющих на корректность принятия решений и склонность работников к рискованным действиям на всех уровнях иерархии предприятия, что возможно при рассмотрении индивидуальных характеристик работников, таких как квалификация, уровень знаний, умений и навыков, мотивация и индивидуальные ценности, а также при оценке дополнительного внешнего воздействия вредных факторов и их влияния на риск травмирования работников.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Список графического материала

Рисунок 1.1 – Диаграмма Исикавы распределения факторов, влияющих на травматизм работников (составлено автором).....	14
Рисунок 1.2 – Численность пострадавших при несчастных случаях в расчете на 1000 работающих с 2014 по 2023 года по видам добываемого полезного ископаемого [48].....	19
Рисунок 1.3 – Динамика добычи, аварийности и травматизма со смертельным исходом на угольных шахтах в 2004–2024 годах [39].....	22
Рисунок 1.4 – Карта средних и размахов коэффициента частоты (составлено автором).....	24
Рисунок 1.5 – Коэффициенты смертельного травматизма в угольной промышленности в 2004–2024 годах [48].....	25
Рисунок 1.6 – Распределение коэффициента частоты травматизма по профессиям (составлено автором)	26
Рисунок 1.7 – Диаграмма Парето распределения причин травмирования работников (составлено автором).....	28
Рисунок 1.8 – Динамика травмирования персонала в результате падения за 2010-2023 года на угледобывающих предприятиях (составлено автором)	30
Рисунок 1.9 – Динамика травмирования персонала в результате падения предметов за 2010-2023 года (составлено автором)	31
Рисунок 1.10 – Динамика травмирования персонала в результате воздействия предметов, деталей, механизмов и т.д. за 2010-2023 года (составлено автором) ..	32
Рисунок 1.11 – Диаграмма основных причин несчастных случаев на предприятии (составлено автором)	34
Рисунок 1.12 – Распределение наиболее распространенных причин НС с 2010 по 2023 года (составлено автором).....	35
Рисунок 2.1 – Методы оценки риска в условиях определенности и неопределенности (составлено автором).....	65

Рисунок 2.2 – Зависимость риска травмирования персонала от объема добычи угля (составлено автором)	67
Рисунок 2.3 – Зависимость риска травмирования персонала от вероятности ошибочных действий персонала (составлено автором)	70
Рисунок 2.4 – Зависимость риска травмирования персонала (R) от вероятности ошибочных действий (P) и производительности технологического процесса (Π) (составлено автором)	71
Рисунок 3.1 – Опасные факторы, приводящие к травмам (составлено автором)...	75
Рисунок 3.2 – Зависимость риска травмирования работников от вероятности ошибочных действий при организации работ по мониторингу горно-геологических явлений (составлено автором)	77
Рисунок 3.3 – Зависимость риска травмирования работников от вероятности ошибочных действий при обеспечении технических средств и оборудования (составлено автором)	78
Рисунок 3.4 – Зависимость риска травмирования работников от частоты ошибок при организации работ (составлено автором)	80
Рисунок 3.5 – Графическая схема причинно-следственных связей травмоопасных ситуаций (составлено автором)	82
Рисунок 3.6 – Классификация причинно-следственных связей реализации человеческого фактора в системе предприятия (составлено автором)	83
Рисунок 3.7 – Доля влияния персонала различных уровней производства на тяжесть травматизма (составлено автором)	84
Рисунок 3.8 – Удельный вес ошибочных действий персонала при реализации горно-технологических, технических и организационных причин (составлено автором)	93
Рисунок 3.9 – Зависимость риска производственного травматизма от вероятности ошибочных действий персонала (составлено автором)	100
Рисунок 3.10 – Алгоритм применения метода оценки рисков, учитывающего вероятность ошибочных действий персонала различных уровней управления технологическим процессом (составлено автором)	106

Рисунок 4.1 – Скорость обработки информации при снижении показателей ДОРС (составлено автором)	115
Рисунок 4.2 – Распределение частоты ошибок при ухудшении показателей ДОРС (составлено автором)	116
Рисунок 4.3 – Зависимость риска травмирования работников от частоты воздействия человеческого фактора на уровне руководства (составлено автором)	120
Рисунок 4.4 – Зависимость риска травмирования работников от частоты воздействия человеческого фактора на уровне исполнителей (составлено автором)	121
Рисунок 4.5 – Зависимость риска производственного травматизма от риска воздействия человеческого фактора на уровне ИТР (составлено автором)	122
Рисунок 4.6 – Закономерность влияния персонала на уровень травматизма (составлено автором)	125

Список табличного материала

Таблица 1.1 – Классы опасных факторов, приводящих к травме (составлено автором).....	14
Таблица 1.2 – Сведения о травматизме на шахтах за 2014-2024 года [48, 109]	20
Таблица 1.3 – Статистические данные по добыче, аварийности и травматизму со смертельным исходом на угольных шахтах за 2004 – 2024 года [39]	21
Таблица 1.4 – Частота травм персонала по видам воздействующего фактора [39]27	
Таблица 1.5 – Динамика количества травм в зависимости от класса оказываемого воздействия (составлено автором)	30
Таблица 1.6 – Методы оценки травматизма (составлено автором)	36
Таблица 1.7 – Показатели травматизма (составлено автором).....	36
Таблица 1.8 – Расчет вероятности реализации травмоопасных событий в зависимости от причин (составлено автором)	37
Таблица 2.1 – Расчетные вероятности для анализируемых шахт	69

Таблица 3.1 – Частота ошибочных действий персонала шахт среди горно-технологических, технических и организационных причин (составлено автором).....	85
Таблица 3.2 – Матрица парной оценки важности элементов по методу АНР, (составлено автором)	88
Таблица 3.3 – Нормализованная матрица парной оценки важности элементов (составлено автором)	88
Таблица 3.4 – Собственные вектора оценок рассмотренных групп экспертов (составлено автором)	89
Таблица 3.5 – Собственные числа оценок рассмотренных групп экспертов (составлено автором)	89
Таблица 3.6 – Шкала значений случайного индекса целостности [100].....	90
Полученные в результате расчета значения приведены в таблице 3.7.....	90
Таблица 3.7 – Результаты проверки согласованности данных (составлено автором)	90
Таблица 3.8 – Результаты проверки согласованности данных в группах А, Б и В (составлено автором)	91
Таблица 3.9 – Веса причин ошибочных действий каждой отдельной группы персонала (составлено автором).....	92
Таблица 4.1 – Оценка причин ошибочных действий (составлено автором).....	110
Таблица 4.2 – Шкала баллов оценки квалификации (составлено автором).....	112
Таблица 4.3 – Шкала баллов оценки уровня мотивации (составлено автором)...	114
Таблица 4.4 – Шкала баллов оценки психофизиологических показателей персонала (составлено автором)	117
Таблица 4.5 – Шкала баллов оценки обеспечения работников (составлено автором)	118
Таблица 4.6 – Учет влияния ошибочных действий на уровне руководства на риск травмирования работников (составлено автором).....	119
Таблица 4.7 – Учет влияния ошибочных действий на уровне исполнителей на риск травмирования работников (составлено автором).....	120

Таблица 4.8 – Учет влияния ошибочных действий на уровне ИТР на риск травмирования работников (составлено автором).....	122
Таблица 4.9 – Оценка риска травмирования работников в зависимости от ошибочных действий групп персонала (составлено автором).....	123
Таблица 4.10 – Построение регрессионных моделей согласно значимости направлений ошибочных действий ИТР для рассмотренных шахт (составлено автором).....	124
Таблица 4.11 – Ранжирование первопричин воздействия человеческого фактора по значению коэффициент безопасного ведения работ персоналом К (составлено автором).....	126
Таблица 4.12 – Оценка риска негативного воздействия групп персонала (составлено автором)	127
Таблица 4.13 – Статьи экономической оценки при НС (составлено автором).....	129

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохов, И. В. Цифровая тень как инструмент для исследования отрасли / И. В. Анохов – DOI 10.26425/2658-3445-2022-5-1-80-92. // E-Management. – 2022. – Т. 5, № 1. – С. 80-92. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 91 (8 назв.).
2. Артемьев, В.Б. Роль человеческого фактора в происхождении и предотвращении аварий и травм на горнодобывающих предприятиях / В.Б. Артемьев, Г.П. Ермак, В.А. Галкин, А.М. Макаров, И.Л. Кравчук – DOI 10.24000/0409-2961-2022-11-79-84 // Безопасность труда в промышленности. – 2022. – № 11. – С. 79–84. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 83 (13 назв.).
3. Бабенко, А.Г. Риск-ориентированное управление угольной шахтой с использованием многофункциональных систем безопасности / А.Г. Бабенко, Е.П. Ютяев – DOI 10.25018/0236-1493-2019-4-6-9-20 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S6. – С. 9-20. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 17 (15 назв.).
4. Бакико Е.В. Многоуровневая модель состояния человеческого фактора для оценки профессионального риска / Е.В. Бакико, Е.Э. Мелешенко, Н.О. Зонова [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2022. – № 2. – С. 60–70. – Библиогр.: с. 68 (22 назв.).
5. Баловцев, С.В. Аэрологические риски высших рангов в угольных шахтах / С.В. Баловцев – DOI 10.17073/2500-0632-2022-08-18 // Горные науки и технологии. – 2022. – Т. 7. – № 4. – С. 310–319. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 317 (29 назв.). – URL: <https://mst.misis.ru/jour/article/view/399> (дата обращения: 18.08.2025).
6. Баловцев, С.В. Управление производственными рисками на угольных шахтах на основе ранжирования требований безопасности / С.В. Баловцев, О.В. Воробьева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 12. – С. 15-20. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 19 (4 назв.).
7. Баширов, З. А. Контроль и управление небезопасными действиями работников на основе нечетких показателей / З. А. Баширов, В. В. Кулешов, А. И. Фомин – DOI 10.24000/0409-2961-2024-5-7-12 // Безопасность труда в промышленности. – 2024. – № 5. – С. 7-12. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 11 (17 назв.).

8. Бектемиров, А.К. Некоторые аспекты управления профессиональными рисками в условиях современного Казахстана / А.К. Бектемиров, А.Б. Мукушев, К.У. Хасенова // Безопасность жизнедеятельности. – 2023. – № 4(268). – С. 15–22. – Рез. англ. – Библиогр.: 8 назв.

9. Бочарова, А.М. Анализ влияния плохой освещенности на безопасность труда, ее расчет и методы улучшения / А.М. Бочарова – DOI 10.24412/2071-6168-2023-3-310-312. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 3. – С. 310-312. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 311 (10 назв.).

10. Бурак, В.Е. Производственный контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны / В.Е. Бурак // Безопасность жизнедеятельности. – 2023. – № 1(265). – С. 3–8. – Библиогр.: 11 назв.

11. Бухтияров, И.В. Условия труда как фактор риска повышения смертности в трудоспособном возрасте / И.В. Бухтияров, Н.Ф. Измеров, Г.И. Тихонова [и др.] // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – №8. – С. 43–49. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 48 (13 назв.). – URL: <https://www.journal-irioh.ru/jour/article/view/663> (дата обращения: 25.07.2025).

12. Бухтияров, И.В. Проблемы сохранения здоровья работников угольной промышленности: новые вызовы и новые решения / И.В. Бухтияров, Н.П. Головкова, Н.А. Хелковский-Сергеев // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – №12. – С. 1–6. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 5 (9 назв.). – URL: <https://www.journal-irioh.ru/jour/article/view/1068> (дата обращения: 25.07.2025).

13. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей : Учебник для студентов высших технических учебных заведений / Е.С. Вентцель. – 12-е издание, стереотипное. – Москва : "Юстиция", 2018. – 658 с.

14. Виноградова, О.В. Роль персонала в обеспечении безопасности на угледобывающих предприятиях / О.В. Виноградова – DOI 10.25018/0236-1493-2021-21-0-64-76 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2-1. – С. 64–76. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 74 (18 назв.). – URL: <https://giab-online.ru/files/Data/2021/2/64-76.pdf> (дата обращения: 10.06.2025).

15. Виноградова, О.В. Ошибки человека как фактор производственного риска в горнодобывающей промышленности / О.В. Виноградова – DOI 10.25018/0236-1493-2020-61-0-137-145 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1. – С. 137–145. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 143 (18 назв.). – URL: <https://giab-online.ru/files/Data/2020/6/137-145.pdf> (дата обращения: 10.06.2025).

16. Ворошилов, С.П. Концепция моделирования роли человеческого фактора при оценке риска на горнодобывающих предприятиях / С.П. Ворошилов, Я.С. Ворошилов, А.С. Ворошилов, Н.Н. Новиков, К.Н. Тодрадзе // Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магниевых солей : Материалы II Международной научно-практической конференции, Пермь, 21–22 октября 2021 г. – С. 8-21. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 20 (4 назв.).

17. Ворошилов Я.С. Количественная модель человеческого фактора / Я.С. Ворошилов, С.П. Ворошилов, А.С. Ворошилов, Г.Е. Седельников, К.Н. Тодрадзе, Н.Н. Новиков, А.И. Фомин // Безопасность жизнедеятельности. – 2022. – № 6. – С. 3–10. – Рез. англ. – Библиогр.: 19 назв.

18. Галкин, А.В. Методологические принципы повышения надежности функционирования системы обеспечения безопасности труда на примере угледобывающих предприятий / А.В. Галкин – DOI 10.25018/0236-1493-2020-4-12-16-30 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № S12. – С. 16-30. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 27 (16 назв.).

19. Галкин, А.В. Надежное функционирование системы обеспечения безопасности труда угледобывающего предприятия в условиях высокой изменчивости внешней и внутренней среды / А.В. Галкин – DOI 10.25018/0236-1493-2020-4-12-3-15 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № S12. – С. 3-15. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 12 (20 назв.).

20. Галкин, А.В. Опыт формирования риск-ориентированного поведения персонала угледобывающих предприятий на примере АО «СУЭК-Кузбасс» / А.В. Галкин // Проблемы недропользования. – 2024. – № 2(41). – С. 50-57. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 55 (14 назв.).

21. Галкин, А.В. Повышение надежности функционирования системы обеспечения безопасности труда – средство снижения производственного риска / А.В. Галкин – DOI 10.25018/0236_1493_2022_52_0_220 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5-2. – С. 220–232. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 229 (20 назв.). – URL: https://giab-online.ru/files/Data/2022/5/2022_5-2_220-232.pdf (дата обращения: 23.08.2025).

22. Галкин, А.В. Обеспечение безопасности технологических процессов на основе формирования безопасного поведения персонала АО "СУЭК-Кузбасс" / А.В. Галкин, А.В. Смолин, А.А. Кутузова // Безопасность технологических процессов и производств : Труды VI Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 04 апреля 2024 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2024. – С. 19-23. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 23 (5 назв.).

23. Галкин, В.А. Взаимоотношения и взаимодействие на горнодобывающем предприятии / В.А. Галкин, А.М. Макаров, И.Л. Кравчук, А.В. Соколовский – DOI 10.18796/0041-5790-2024-6-23-27 // Уголь. – 2024. – № 6(1181). – С. 23-27. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 27 (15 назв.).

24. Галкин, В.А. Персонал горнодобывающего предприятия – решающий фактор повышения безопасности и эффективности производства / В.А. Галкин, А.В. Ошаров, О.В. Воробьева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – Т. S62. – С.225-237. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 235 (12 назв.).

25. Гендлер, С.Г. Обоснование технических решений по снижению производственного травматизма в лавах угольных шахт / С.Г. Гендлер, В.В. Габов, Н.В. Бабырь, Е.А. Прохорова – DOI 10.25018/0236_1493_2022_1_0_5 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 1. – С. 5–19. – Рез. англ. –

Библиогр.: с. 15 (37 назв.). – URL: <https://giab-online.ru/files/Data/2022/1/5-19.pdf> (дата обращения: 01.07.2025).

26. Гендлер, С.Г. Методические основы выбора приоритетных направлений управления охраной труда при подземной добыче угля на основе анализа динамики интегрального риска травматизма и профессиональной заболеваемости / С.Г. Гендлер, Е.А. Прохорова – DOI 10.17580/gzh.2023.09.06 // Горный журнал. – 2023. – №9. – С. 41-48. – Рез. англ. – Библиогр.: 34 назв.

27. Гендлер, С.Г. Развитие риск-ориентированного подхода для выбора приоритетных направлений снижения производственного травматизма в АО "СУЭК-Кузбасс" / С.Г. Гендлер, Е.А. Прохорова, Л.Ю. Самаров, Д.О. Хомяков // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 1. – С. 64-76. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 70 (35 назв.)

28. Голод, В.А. Обеспечение теплового комфорта работников угольных шахт с учетом средств индивидуальной защиты / В.А. Голод, М.Л. Рудаков, Л.В. Степанова – DOI 10.25018/0236-1493-2019-4-7-39-49 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S7. – С. 39–49. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 45 (16 назв.).

29. ГОСТ 12.0.002-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2019. – 32 с.

30. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2019. – 9 с.

31. ГОСТ 12.0.230.3-2016 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы управления охраной труда. Оценка результативности и эффективности. – М.: Стандартинформ, 2019. – 29 с.

32. ГОСТ Р 50779.42-99 (ИСО 8258-91) Статистические методы. Контрольные карты Шухарта: государственный стандарт Российской Федерации официальное издание – М.: Стандартинформ, 2008.

33. ГОСТ Р 51901.1-2002 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 28 с.

34. ГОСТ Р 58771-2019 Менеджмент риска. Технологии оценки риска – М.: ФГБУ "РСТ", 2022 – 85 с.
35. ГОСТ Р ИСО 45001-2020 Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования и руководство по применению – М.: Стандартиформ, 2020. – 48 с.
36. ГОСТ Р МЭК 62508-2014 Менеджмент риска. Анализ влияния на надежность человеческого фактора – М.: Стандартиформ, 2020. – 65 с.
37. Драган, С.П. Метод оценивания акустической безопасности человека / С.П. Драган, А.В. Богомолов – DOI 10.12731/2658-6649-2021-13-1-259-278 // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. – 2021. – Т. 13. – № 1. – С. 259–278. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 268 (43 назв.). – URL: <https://discover-journal.ru/jour/index.php/sjlsa/article/view/31> (дата обращения: 12.05.2025).
38. Евдокимов, В.И. Показатели производственного травматизма в мире, России и МЧС России в 2011–2020 гг. / В.И. Евдокимов, Е.В. Бобринев, А.А. Кондашов, В.С. Путин – DOI 10.24000/0409-2961-2022-7-51-57 // *Безопасность труда в промышленности*. – 2022. – № 7. – С. 51-57. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 55 (12 назв.).
39. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому технологическому и атомному надзору за 2013-2024 года : Федеральная служба по экологическому технологическому и атомному надзору : сайт. – Москва, 2015. – URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения: 03.09.2025). – Режим доступа: открытый доступ. – Текст: электронный.
40. Закиева, Р.Р. Изучение влияния световой среды на когнитивные функции подготовки рабочих на предприятии / Р.Р. Закиева // *Школа будущего*. – 2019. – № 3. – С. 116–127. – Библиогр.: с. 123 (40 назв.). – URL: https://schoolfut.ru/article/2019-3_116/ (дата обращения: 14.03.2024).
41. Значение критерия Стьюдента: сайт. – URL: <https://www.matematicus.ru/teoriya-veroyatnosti/tablitzy/tablitsa-znachenij-kriteriya-sty>

udenta-t-kriteriya (дата обращения: 21.06.2025). – Режим доступа: открытый доступ.
– Текст: электронный.

42. Значение критерия Фишера: сайт. – URL: <https://www.matematicus.ru/teoriya-veroyatnosti/tablitsy/tablitsa-znachenij-kriteriya-fisher-f-kriteriya> (дата обращения 04.06.2025). – Режим доступа: открытый доступ. – Текст: электронный.

43. Иванов, Ю.М. Анализ травматизма работников, обусловленного трудовым стажем. Оценка рисков травматизма / Ю.М. Иванов, Н.В. Куракина, А.И. Фомин [и др.] – DOI 10.18796/0041-5790-2022-2-37-40 // Уголь. – 2022. – № 2(1151). – С. 37–40. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 40 (7 назв.). – URL: <https://www.ugolinfo.ru/index.php?article=202202037> (дата обращения: 03.01.2025).

44. Иванов, Ю.М. Комплексное обеспечение безопасности труда на предприятиях АО "СУЭК-КУЗБАСС" / Ю.М. Иванов – DOI 10.25018/0236-1493-2018-11-49-326-334 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № S49. – С. 326-334. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 331 (12 назв.).

45. Иванов, Ю.М. Оценка надёжности человеческого фактора / Ю.М. Иванов, Н.В. Куракина, А.С. Ворошилов, Я.С. Ворошилов – DOI 10.25018/0236_1493_2022_61_0_129 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6-1. – С. 129–139. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 138 (13 назв.). – URL: https://giab-online.ru/files/Data/2022/6/6-1_2022_129-139.pdf (дата обращения: 03.01.2024)

46. Иванов, Ю.М. Система управления промышленной безопасностью и охраной труда в АО "СУЭК-КУЗБАСС". Реализуемые проекты по обеспечению безопасных условий труда / Ю.М. Иванов, Н.В. Куракина, К.В. Грачев – DOI 10.25018/0236-1493-2017-12-37-134-142 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S37. – С. 134-142. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 141 (3 назв.).

47. Исмагилова, Р.С. Проблемы оценки профессиональных рисков в Российской Федерации / Р.С. Исмагилова // Безопасность жизнедеятельности. – 2022. – № 4(256). – С. 3–7. – Рез. англ. – Библиогр.: 8 назв.

48. Итоги федеральных статистических наблюдений за 2013 – 2024 года : Федеральная служба государственной статистики России : сайт. – Москва, 1999 – URL: https://rosstat.gov.ru/working_conditions (дата обращения: 29.08.2025). – Режим доступа: открытый доступ. – Текст: электронный.

49. Казанин, О.И. Оценка рисков аварий на угольных шахтах с учетом человеческого фактора / О.И. Казанин, Е.И. Кабанов // Инновационные перспективы Донбасса: материалы 9-й Международной научнопрактической конференции, Донецк, 23–25 мая 2023 года. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2023. – С. 7-9. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 9 (5 назв.).

50. Казанин, О.И. Перспективные направления развития технологической структуры угольных шахт / О.И. Казанин, А.А. Мешков, А.А. Сидоренко – DOI 10.25018/0236_1493_2022_61_0_35 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6-1. – С. 35-53. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 10 (37 назв.).

51. Казанин, О.И. Профессиональная переподготовка в системе кадрового обеспечения горных предприятий / О.И. Казанин, М.А. Маринин, А.М. Блинов – DOI 10.24000/0409-2961-2021-7-79-84 // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 7. – С. 79-84. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 82 (15 назв.).

52. Кабанов, Е.И. Анализ риска аварий на угольных шахтах с учетом человеческого фактора / Е.И. Кабанов – DOI: 10.17580/gzh.2023.09.07 // Горный журнал. – 2023. – № 9. – С. 48-54. – Рез. англ. – Библиогр.: 35 назв.

53. Кабанов, Е.И. Инновационный подход к профилактике травм на горнодобывающих предприятиях на основе управления человеческим фактором / Е.И. Кабанов, М.В. Туманов, В.С. Сметанин, К.В. Романов // Записки Горного института. – 2023. – Т. 263. – С. 774-784. – Рез. англ. – Библиогр.: 42 назв. – URL: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16013> (дата обращения: 20.02.2025).

54. Кабанов, Е.И. Определение допустимого профессионального риска травмирования работников угледобывающих предприятий / Е.И. Кабанов – DOI 10.25018/0236_1493_2022_5_0_167 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – №5. – С. 167–180. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 177 (31 назв.). – URL: https://giab-online.ru/files/Data/2022/5/05-2022_167-180.pdf (дата обращения: 24.02.2025).

55. Карначев, И.П. Проблемы управления безопасностью труда в контексте реализации концепции нулевого травматизма / И.П. Карначев, С.П. Левашов, Н.К. Смирнова, П.И. Карначев – DOI 10.24000/0409-2961-2021-8-27-34 // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 8. – С. 27–34. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 33 (14 назв.). – URL: <https://btpnadzor.ru/archive/problemu-upravleniya-bezopasnostyu-truda-v-kontekste-realizatsii-kontseptsii-nulevogo-travmatizma> (дата обращения: 07.05.2024).

56. Карначев, И.П. Проблемы и перспективы формирования системы проактивного мониторинга безопасности работников предприятий горнодобывающей отрасли / И.П. Карначев, С.П. Левашов, Н.К. Смирнова, П.И. Карначев – DOI 10.24000/0409-2961-2020-10-48-54 // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 10. – С. 48–54. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 53 (15 назв.). – URL: <https://btpnadzor.ru/archive/1-3092> (дата обращения: 08.05.2024).

57. Карначев, И.П. Статистические показатели производственного травматизма, используемые в отечественной и международной практике оценки уровня безопасности труда / П.И. Карначев, Н.А. Винниченко, И.П. Карначев // Безопасность и охрана труда. – 2015. – №2. – С. 37-40. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 40 (11 назв.).

58. Китляйн, Е.Е. Создание и методология практического применения автоматизированной системы управления промышленной безопасностью в угледобывающей компании / Е.Е. Китляйн, В.В. Лисовский – DOI 10.18796/0041-5790-2017-5-70-72 // Уголь. – 2017. – № 5. – С. 70–72. – Рез. англ.

59. Ковшов, А.А. Профессиональная патология в Чукотском и Ненецком автономных округах: риски, структура, распространённость / А.А. Ковшов, С.А. Сюрин – DOI 10.31089/1026-9428-2021-61-11-706-714 // Медицина труда и промышленная экология. –2021. – № 61-11. – С. 706-714. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 713 (20 назв.). – URL: <https://www.journal-irioh.ru/jour/article/view/2847> (дата обращения: 19.10.2024).

60. Комаричева, Е.И. Проблемы подготовки специалистов для обеспечения безопасности в горнодобывающей промышленности / Е.И. Комаричева, О.В. Виноградова – DOI: 10.24000/0409-2961-2023-2-88-94 // Безопасность труда в промышленности. – 2023. – № 2. – С. 88–94. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 92 (15 назв.).

61. Кораблев, В.А. Исследование интенсивности теплового воздействия рабочих поверхностей пультов управления на оператора / В.А. Кораблев, Д.А. Минкин, А.А. Пермяков // Безопасность жизнедеятельности. – 2023. – № 2(266). – С. 3-7. – Рез. англ. – Библиогр.: 11 назв.

62. Коршунов, Г.И. Методические подходы к обоснованию комплексной оценки надежности персонала минерально-сырьевого комплекса / Г.И. Коршунов, **Д.Ю. Красноухова**, М.В. Туманов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 2(66). – С. 204–209. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 208 (36 назв.). – URL: https://vek21.penzgtu.ru/wp-content/uploads/2024/06/2024_66.pdf (дата обращения: 03.09.2025).

63. Коршунов, Г.И. Оценка совокупного влияния вредных производственных факторов на профессиональный риск травмирования работников / Г.И. Коршунов, А.Н. Никулин, **Д.Ю. Красноухова** // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, № 2(62). – С. 192–198. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 196 (39 назв.). – URL: https://vek21.penzgtu.ru/wp-content/uploads/2023/06/2023_62.pdf (дата обращения: 03.09.2025).

64. Коршунов, Г.И. Разработка рекомендаций по управлению профессиональными рисками работников горнообогатительного комбината / Г.И.

Коршунов, А.Н. Никулин, Д.Ю. Красноухова – DOI 10.25018/0236_1493_2023_91_0_199 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 9-1. – С. 199-214. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 209 (34 назв.). – URL: https://giab-online.ru/files/Data/2023/9/2023_9-1_199-214.pdf (дата обращения: 04.09.2025).

65. Костеренко, В.Н. Анализ причин аварий с целью повышения эффективности системы управления безопасностью труда угледобывающих предприятий / В.Н. Костеренко, А.Н. Тимченко, О.В. Воробьева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – №12. – С. 194–199. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 199 (2 назв.). – URL: https://giab-online.ru/files/Data/2015/12/194_199_12_2015.pdf (дата обращения: 07.09.2025).

66. Костеренко, В.Н. Анализ причин обрушений с целью повышения эффективности системы управления безопасностью труда угледобывающих предприятий / В.Н. Костеренко, О.В. Воробьева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – №6. – С. 74–90. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 89 (7 назв.). – URL: https://giab-online.ru/files/Data/2017/6/74_90_6_2017.pdf (дата обращения: 07.09.2025).

67. Кравчук, И.Л. Риск негативных событий, обусловленный нарушениями требований безопасности, и способ его снижения / И.Л. Кравчук, А.В. Смолин, В.Ю. Гришин // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - № 6-28. - С. 3-20. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 19 (2 назв.).

68. **Красноухова, Д.Ю.** Анализ влияния человеческого фактора на травматизм в горнодобывающей промышленности / **Д.Ю. Красноухова** // Научные исследования: проблемы и перспективы в условиях формирования многополярного мира: сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции, Анапа, 23 апреля 2025 года. – 2025. – С. 43–47. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 46 (8 назв.). – URL:

<https://innova-science.ru/wp-content/uploads/2025/04/sbornik-konferenczii-23.04.2025-nipp-5.pdf> (дата обращения: 05.09.2025).

69. **Красноухова, Д.Ю.** Исследование влияния когнитивных процессов работников на риск ошибочных действий / **Д.Ю. Красноухова** // Промышленная безопасность и охрана труда: Тезисы докладов I всероссийской научной конференции (с международным участием), Санкт-Петербург, 13-15 декабря 2023 года. – 2024. – С. 76-77. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 77 (7 назв.).

70. Красноухова, Д.Ю. Исследование влияний психофизиологического состояния работников на реализацию травмоопасных ситуаций / Д.Ю. Красноухова // Актуальные проблемы недропользования : Тезисы докладов XX Всероссийской конференции-конкурса студентов выпускного курса и аспирантов, Санкт-Петербург, 02–06 декабря 2024 года. Том 1. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 2025. – С. 257-259. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 259 (9 назв.).

71. Красноухова, Д.Ю. Исследование причинно-следственных связей при возникновении травмоопасных ситуаций в угольной отрасли / Д.Ю. Красноухова // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2025. – № 1. – С. 795-797. – Библиогр.: 3 назв.

72. Красноухова, Д.Ю. Методический подход к обеспечению комплексной оценки надежности персонала предприятий горной промышленности / Д. Ю. Красноухова / Красноухова Д.Ю. // Инновационные перспективы Донбасса : Сборник научных трудов 11-й Международной научно-практической конференции, Донецк, 27–29 мая 2025 года. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2025. – С. 122-125. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 125 (3 назв.).

73. Красноухова, Д.Ю. Оценка влияния производственных факторов рабочего места оператора технических систем на риск возникновения ошибочных действий / Д.Ю. Красноухова, А.Н. Никулин // Актуальные проблемы развития современного общества: Межвузовский научный семинар с международным участием, Санкт-Петербург, 17 мая 2019 года. – Санкт-Петербург:

Санкт-Петербургский горный университет. – 2019. – С. 211–214. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 214 (2 назв.).

74. **Красноухова, Д.Ю.** Оценка напряженности труда оператора технологических процессов / **Д.Ю. Красноухова** // XVIII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов: Тезисы докладов, Санкт-Петербург, 15–17 апреля 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет. – 2020. – С. 169. – URL: https://vkk.spmi.ru/sites/default/files/doc/archiv/Sbornik_VKK_2020.pdf (дата обращения: 03.09.2025).

75. **Красноухова, Д.Ю.** Разработка средства мониторинга уровня шума на рабочих местах горнодобывающих предприятий / **Д.Ю. Красноухова** // Актуальные проблемы недропользования: тезисы докладов XVIII Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 15–21 мая 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет. – 2022. Т. 1. – С. 422–423.

76. Красноухова, Д.Ю. Снижение профессионального риска оператора пульта управления технологическим процессом за счет профилактики ошибочных действий / Д.Ю. Красноухова // Конкурс научно-исследовательских работ, Москва, 08–11 декабря 2020 года. – Москва: Ассоциация разработчиков, изготовителей и поставщиков средств индивидуальной защиты. – 2020. – С. 37–40. – Библиогр.: с. 40 (11 назв.).

77. Кулецкий, К.В. Использование процедуры управления профессиональными рисками в целях совершенствования обучения по охране труда работников организаций по добыче угля открытым способом / К.В. Кулецкий, С.В. Жунда, М.Л. Рудаков, А.В. Пасынков, Д.С. Собянин – DOI 10.24000/0409-2961-2020-2-74-79 // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 2. – С. 74–79. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 77 (20 назв.). – URL: <https://btpnadzor.ru/archive/1-56> (дата обращения: 05.06.2025).

78. Кулешов, В.В. Расчет весовых коэффициентов превентивных индикаторов / В.В. Кулешов, А.И. Фомин – DOI: 10.24000/0409-2961-2025-4-56-60

// Безопасность труда в промышленности. – 2025. – № 4. – С. 56–60. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 59 (12 назв.).

79. Лазаренков, А.М. Исследование влияния условий труда на показатели производственного травматизма в литейном производстве / А.М. Лазаренков – DOI 10.21122/1683-6065-2019-2-129-133 // Литье и металлургия. – 2019. – № 2. – С. 129-133. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 132 (4 назв.).

80. Литвинов, А.Р. Аварийность и травматизм на предприятиях угольной промышленности в 2010-2015 годах / А.Р. Литвинов, К.С. Коликов, О.Г. Ишхнели // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2017. – № 2. – С. 6–17. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 17 (6 назв.).

81. Махонько, М.Н. Производственный травматизм у работников современных промышленных предприятий / М.Н. Махонько, Н.В. Шкрובה, Т.В. Шелехова // Безопасность жизнедеятельности. – 2023. – № 1(265). – С. 9–17. – Рез. англ. – Библиогр.: 60 назв.

82. Мигунова, Ю.В. Влияние производственных факторов на условия труда работников / Ю.В. Мигунова – DOI 10.24158/spp.2021.4.9 // Общество: социология, психология, педагогика. – 2021. – №4(84). – С. 53–56. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 55 (6 назв.).

83. Михайленко, Е.Д. Снижение производственного травматизма на угольных шахтах за счет многопланового раскрытия человеческого фактора / Е.Д. Михайленко, А.И. Фомин // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2021. – № 2. – С. 55-62. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 61 (11 назв.).

84. Михайленко, Е.Д. Управление персоналом угледобывающего предприятия по критерию влияния на человеческий фактор / Е.Д. Михайленко, А.И. Фомин // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2021. – № 1. – С. 44-50. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 50 (8 назв.).

85. Надежное обеспечение безопасности труда на предприятиях СУЭК / В.Б. Артемьев, В.В. Лисовский, Е.П. Ютяев [и др.] – DOI

10.25018/0236-1493-2018-5-20-5-39 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № S20. – С. 5-39.

86. Никулин, А.Н. Исследование влияния напряженности трудового процесса оператора маслоэкстракционного цеха на риск возникновения ошибочных действий / А.Н. Никулин, Д.Ю. Красноухова // 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. 81–85. – Рез. англ. – Библиогр.: 5 назв.

87. Никулин, А.Н. Исследование влияния условий труда оператора тоннелепроходческого щита на риск возникновения ошибочных действий / А.Н. Никулин, Д.Ю. Красноухова // Концепции устойчивого развития науки в современных условиях : сборник статей Международной научно-практической конференции, Самара, 20 мая 2019 года. – Самара: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна". – 2019. – С. 51-54. – Библиогр.: с. 54 (3 назв.).

88. Никулин А.Н. Организационно-технические решения по снижению воздействия шумового фактора на подземный персонал угольных шахт / А.Н. Никулин, Д.Ю. Красноухова, Л.В. Степанова, В.Г. Бурлов, Ф.А. Гомазов – DOI 10.25018/0236_1493_2022_61_0_157 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6-1. – С. 157–173. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 168 (30 назв.). – URL: https://giab-online.ru/files/Data/2022/6/6-1_2022_157-173.pdf (дата обращения: 30.08.2025).

89. Овчинникова, Т.И. Риск-ориентированный подход при оценке опасностей в горной промышленности / Т.И. Овчинникова, Е.П. Потоцкий, В.М. Фирсова – DOI 10.25018/0236-1493-2021-21-0-199-208 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 2-1. – С. 199–208. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 205 (22 назв.). – URL: <https://giab-online.ru/files/Data/2021/2/199-208.pdf> (дата обращения: 03.04.2025).

90. Парханьски, Ю. Риск травматизма рабочих угольных шахт и его гистерезис / Ю. Парханьски – DOI: 10.18454/PMI.2016.6.869 // Записки Горного института. – 2016. – Т. 222. – С. 869–876. – Библиогр.: с. 875 (8 назв.). – URL: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/6934/4855> (дата обращения: 12.05.2025).

91. Потоцкий, Е.П. Исследование профессионального риска с учетом сочетанного действия производственных / Е.П. Потоцкий, В.М. Фирсова – DOI 10.25018/0236-1493-2019-6-17-53-63 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 6 (специальный выпуск 17). – С. 53–63. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 61 (12 назв.).

92. Потоцкий, Е.П. Оценка риска травмирования персонала с учетом показателя профессиональной пригодности / Е.П. Потоцкий, В.А. Гарт – DOI 10.25018/0236-1493-2020-1-1-144-153 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 1 (специальный выпуск 1). – С. 144–153. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 151 (9 назв.).

93. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 30 декабря 2016 г. N 851н «Об утверждении Классификации видов экономической деятельности по классам профессионального риска». – Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru. – 2017. – N 0001201701190036.

94. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 28 декабря 2021 г. N 926 «Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков». – Бюллетень трудового и социального законодательства Российской Федерации. – 2022. – N 3.

95. Радионовский, В.Л. Состояние безопасности на шахтах России / В.Л. Радионовский, А.Ф. Син, С.В. Баловцев, Е.М. Левшина – // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – № S12. – С. 354–374. – Рез. англ.

96. Российская Федерация. Законы. О специальной оценке условий труда : Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ.

97. Российская Федерация. Законы. О страховых тарифах на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний на 2025 год и на плановый период 2026 и 2027 годов : Федеральный закон от 26 октября 2024 г. N 352-ФЗ.

98. Российская Федерация. Законы. Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний : Федеральный закон от 24 июля 1998 г. N 125-ФЗ. (ред. от 28.12.2024).

99. Русак, О.Н. Системный анализ опасностей как метод управления охраной труда / О.Н. Русак, Я.О. Русак, А.Д. Цветкова // Безопасность жизнедеятельности. – 2022. – № 2(254). – С. 9–13. – Рез. англ. – Библиогр.: 17 назв.

100. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1989. — 316 с.

101. Савон, Д.Ю. Современные подходы к системе промышленной безопасности на угольных предприятиях / Д.Ю. Савон – DOI 10.25018/0236-1493-2018-11-0-227-235 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № 11. – С. 227–235. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 233 (12 назв.).

102. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621231 Российская Федерация. База данных мониторинга сниженной работоспособности и результативности профессиональной деятельности. Заявка № 2025620732: заявлено 10.03.2025: опубликовано 18.03.2025 / Г.И. Коршунов, Д.Ю. Красноухова; заявитель/правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – 67,8 КБ.

103. Скворцов, А.Н. Улучшение условий труда операторов холодной штамповки электромеханического завода путем снижения уровня шума на примере промышленных предприятий Республики Мордовии / А.Н. Скворцов – DOI 10.24000/0409-2961-2022-1-64-70 // Безопасность труда в промышленности. – 2022. – № 1. – С. 64–70. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 69 (12 назв.). – URL:

<https://btpnadzor.ru/archive/uluchshenie-usloviy-truda-operatorov-kholodnoy-shtampov-ki-elektromekhanicheskogo-zavoda-putem-snizheniya-urovnya-shuma-na-primere-promyshlennykh-predpriyatii-respubliki-mordovii> (дата обращения: 08.07.2025).

104. Смирняков, В.В. Риск-ориентированный подход как инструмент повышения качества подготовки и развития персонала АО "СУЭК-Кузбасс" / В.В. Смирняков, А.П. Каргополова, В.В. Смирнякова, Е.И. Кабанов, Я.В. Алмосова – DOI 10.25018/0236_1493_2022_61_0_214 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6-1. – С. 214-229. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 224 (35 назв.).

105. Смолин, А.В. Риск-ориентированный подход к контролю нарушений требований безопасности на угледобывающих предприятиях / А.В. Смолин, Е.М. Неволина – DOI 10.25018/0236-1493-2017-12-37-176-182 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 37. – С. 176-182. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 179 (13 назв.).

106. Средняя заработная плата за сентябрь 2025 г. : Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Кемеровской области - Кузбассу : сайт. – URL: <https://42.rosstat.gov.ru/folder/38683> (дата обращения: 10.08.2025). – Режим доступа: открытый доступ. – Текст: электронный.

107. Трудовой кодекс Российской Федерации (с изм. от 07.04.2025) : Федеральный закон № 197-ФЗ : сайт. – Москва, принят Государственной думой 30.12.2001. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения: 05.09.2025). – Режим доступа: открытый доступ. – Текст: электронный.

108. Туманов, М.В. Индекс персонального риска, как перспективный инструмент управления человеческим фактором в охране труда / М.В. Туманов, С.Г. Гендлер, Е.И. Кабанов, В.А. Родионов, Е.А. Прохорова – DOI 10.25018/0236_1493_2022_61_0_230 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6-1. – С. 230–247. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 241 (45 назв.). – URL: https://giab-online.ru/files/Data/2022/6/6-1_2022_230-247.pdf (дата обращения: 19.07.2024).

109. Условия труда, производственный травматизм (по отдельным видам экономической деятельности) за 2013 – 2024 года : Федеральная служба государственной статистики России : сайт. – URL: https://rosstat.gov.ru/working_conditions (дата обращения: 10.08.2025). – Режим доступа: открытый доступ. – Текст: электронный.

110. Ушаков, И.Б. Методологические основы персонифицированного гигиенического мониторинга / И.Б. Ушаков, А.В. Богомолов, С.П. Драган, С.К. Солдатов – DOI 10.21687/0233-528X-2017-51-6-53-56 // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2017. – Т. 51. – № 6. – С. 53–56. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 55 (16 назв.).

111. Ушаков, И.Б. Методологические основы персонифицированного акустического мониторинга / И.Б. Ушаков, А.В. Богомолов, С.П. Драган, С.К. Солдатов – DOI 10.24000/0409-2961-2020-10-33-39 // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 10. – С. 33-39. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 36 (29 назв.). – URL: <https://btpnadzor.ru/archive/1-3090> (дата обращения: 19.01.2025).

112. Филимонов, В.А. Особенности разработки системы управления охраной труда на основе процессного подхода / В.А. Филимонов, Л.Н. Горина – DOI 10.31897/PMI.2019.1.113 // Записки Горного института. – 2019. – Т. 235. – С. 113–122. – Библиогр.: с. 121 (11 назв.). – URL: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/13171/11869> (дата обращения: 11.12.2024).

113. Фомин, А.И. Обеспечение безопасного поведения работника на производстве путем формирования его личной системы управления охраной труда / А.И. Фомин, А.А. Трубицын, Н.В. Трубицына, К.В. Попов, Е.С. Ворошилова – DOI 10.24000/0409-2961-2025-3-90-96 // Безопасность труда в промышленности. – 2025. – № 3. – С. 90-96. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 94 (14 назв.).

114. Фомин, А.И. Оценка влияния "склонности работников к риску" на уровень производственного травматизма на предприятиях угольной отрасли / А.И. Фомин, А.А. Осипова // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2020. – № 3. – С. 31-35. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 35 (5 назв.).

115. Фомин, А. И. Основные подходы к подбору кадров на угольных шахтах / А.И. Фомин, Е.Д. Михайленко // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2022 : Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, Кемерово, 23–24 ноября 2022 года – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 608.1-608.5. – Рез. англ. – Библиогр.: 5 назв.

116. Чемезов, Е.Н. Принципы обеспечения безопасности горных работ при добыче угля /Е.Н. Чемезов – DOI 10.31897/PMI.2019.6.649 // Записки Горного института. – 2019. – Т. 240. – С. 649–653. – Библиогр.: с. 652 (16 назв.). – URL: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/13245> (дата обращения: 06.10.2024).

117. Шевченко, Л.А. Оценка результативности работы персонала угледобывающего предприятия по предотвращению нарушений требований безопасности / Л.А. Шевченко, В.Ю. Гришин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – № 5(117). – С. 123-132. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 130 (2 назв.).

118. Ширванов, Р.Б. Анализ существующих подходов к оценке опасностей и профессиональных рисков работников промышленных предприятий Республики Казахстан / Р.Б. Ширванов – DOI 10.23947/2541-9129-2022-2-14-23 // Безопасность техногенных и природных систем. – 2022. – № 2. – С. 14–23. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 22 (17 назв.). – URL: <https://www.bps-journal.ru/jour/article/view/119> (дата обращения: 10.08.2025).

119. Шкрабак, Р.В. Анализ путей оценки травмоопасности средств механизации процессов АПК / Р.В. Шкрабак // Вестник аграрной науки Дона. – 2021. – № 4(56). – С. 97–108. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 107 (11 назв.).

120. Ютяев, Е.П. Управление рисками на опасном производственном объекте "шахта-лава" / Е.П. Ютяев, Ю.М. Иванов – DOI 10.18796/0041-5790-2017-6-20-25 // Уголь. – 2017. – № 6(1095). – С. 20-27. – Рез. англ. – Библиогр.: с. 25 (5 назв.).

121. Ali, M. Assessment of workers' safety behavior in the extractive industries: The case of underground coal mining in Pakistan / M. Ali, I. Pal – DOI 10.1016/j.exis.2022.101087 // The Extractive Industries and Society. – 2022. – Vol. 10. –

Article No. 101087. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214790X2200048X?via%3Dihub> (дата обращения: 13.04.2025).

122. Apurna K.G. Relationships of Working Conditions and Individual Characteristics to Occupational Injuries: A Case-Control Study in Coal Miners / Apurna Kumar Ghosh, Ashis Bhattacharjee, Nearkasen Chau – DOI 10.1539/joh.46.470 // Journal of Occupational Health. – 2024. – Vol. 46. – Issue 6. – P. 470–478.

123. Baron, R.A. Effects of indoor lighting (illuminance and spectral distribution) on the performance of cognitive tasks and interpersonal behaviors: The potential mediating role of positive affect / R.A. Baron, M.S. Rea, S.G. Daniels – DOI 10.1007/BF00996485 // Motivation and Emotion. –1992. – Vol. 16. – No.1 – P. 1–33. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00996485#Bib1> (дата обращения: 14.07.2025).

124. Dodoo, J.E. Factors leading to unsafe behavior in the twenty first century workplace: a review / J. E. Dodoo, H. Al-Samarraie – DOI 10.1007/s11301-019-00157-6 // Management Review Quarterly. – 2019. – Vol. 69. – №. 4. – P. 391-414.

125. Dollard, M.F. Psychosocoal Safety Climate. A New Work Stress Theory / M.F. Dollard, Ch. Dormann, M.A. Idris // Springer Cham, 2019. – XVII, 449 p. : eBook ISBN 978-3-030-20319-1.

126. Fang, D. A cognitive model of construction workers' unsafe behaviors / D. Fang, C. Zhao, M. Zhang – DOI 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001118// Journal of Construction Engineering and Management. – 2016. – 142(9):04016039.

127. Gridina, E. Hazard mapping as a fundamental element of OSH management systems currently used in the mining sector / E. Gridina, S. Kovshov, D. Borovikov – DOI 10.33271/nvngu/2022-1/107 // Науковий Вісник Національного Гірничого університету. – 2022. – No. 1. – P. 107–115.

128. Groot W. Root cause analysis – what do we know? / W. Groot – DOI 10.5117/mab.95.60778 // Maandblad voor Accountancy en bedrijfseconomie. – 2021. – Vol. 95(1/2). – P. 87–93.

129. Hassi, J. Occupational injuries in the mining industry and their association with statewide cold ambient temperatures in the USA / J. Hassi, L. Gardner, S. Hendricks, J. Bell – DOI 10.1002/1097-0274(200007)38:1<49::AID-AJIM6>3.0.CO;2-3 // American Journal of Industrial Medicine. – 2000. – Vol. 38. – P. 49–58. – URL: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1097-0274\(200007\)38:1%3C49::AID-AJIM6%3E3.0.CO;2-3](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1097-0274(200007)38:1%3C49::AID-AJIM6%3E3.0.CO;2-3) (дата обращения: 05.10.2024).

130. Jafari, M.J. The effect of noise exposure on cognitive performance and brain activity patterns / M.J. Jafari, R. Khosrowabadi, S. Khodakarim, F. Mohammadian – DOI 10.3889/oamjms.2019.742 // Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences. – 2019. – Vol. 7. – № 17. – P. 2924–2931. – URL: <https://oamjms.eu/index.php/mjms/article/view/oamjms.2019.742> (дата обращения: 05.12.2024).

131. Jayawardena, A. Impact of light on safety in industrial environments / A. Jayawardena, D. Duffy, J. Manahan – DOI 10.1109/PCICON.2015.7435087 // IEEE Petroleum and Chemical Industry Committee Conference (PCIC). – Houston, TX, USA. – 2015. – pp. 1–9. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7435087> (дата обращения: 12.06.2025).

132. Peiffer, J.J. Thermal Stress in North Western Australian Iron Ore Mining Staff / J.J. Peiffer, C.R. Abbiss – DOI 10.1093/annhyg/mes084 // The Annals of Occupational Hygiene. – 2013. – Vol. 57. – Iss. 4. – P. 519–527. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23184257/> (дата обращения: 17.05.2025).

133. John W. Noise exposure and self-reported hearing impairment among gas-fired electric plant workers in Tanzania / W. John, G. Sakwari, S.H. Mamuya – DOI 10.29024/AOGH.2305 // Annals of Global Health. – 2018. – Vol. 84. – № 3. – P. 523–531. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30835397/> (дата обращения: 13.09.2024).

134. Kakitsuba, N. Comfortable Indoor Lighting Conditions Evaluated from Psychological and Physiological Responses / N. Kakitsuba – DOI 10.1080/15502724.2015.1061945 // LEUKOS. – 2016. – Vol. 12. – P. 163-172.

135. Korshunov, G.I. Substantiation of a Comprehensive Approach for Eval-uating Traumatic Incidents, Considering the Human Factor / G.I. Korshunov, **D.Y. Krasnoukhova** – DOI 10.5829/ije.2026.39.06c.15 // International Journal of Engineering, Transactions C: Aspects. – 2026. – Vol. 39. – Iss. 06. – P. 1482–1495. – URL: https://www.ije.ir/article_225314.html (дата обращения: 05.09.2025).

136. **Krasnoukhova, D.Y.** Research of labour intensity of the operator of technological processes / **D.Y. Krasnoukhova, A.N. Nikulin** // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources: Scientific conference abstracts, St Petersburg, 17–19 June 2020. Vol. 1. – St Petersburg: Saint-Petersburg Mining University. – 2020. – P. 308–309.

137. Le Coze, J.C. How safety culture can make us think / J.C. Le Coze – DOI 10.1016/j.ssci.2019.05.026 // Safety Science. – 2019. – Vol. 118. – P. 221–229. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753518320356?via%3Dihub> (дата обращения: 19.10.2024).

138. Li, J. A simulation experiment study to examine the effects of noise on miners' safety behavior in underground coal mines / J. Li, Y. Qin, L. Yang, Z. Wang, K. Han, C.A. Guan – DOI 10.1186/s12889-021-10354-2 // BMC Public Health. – 2021. – Vol. 21. – № 1. – P. 1–12. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33563245/> (дата обращения: 14.02.2025).

139. Li, X. Research on psychophysiological characteristics of construction workers during consciously unsafe behaviors / X. Li, Y. Long, C. Yang, Q. Li, W. Lu, J. Gao – DOI 10.1016/j.heliyon.2023.e20484 // Heliyon. – 2023. 9(10):e20484.

140. Lu Y. Effects of Occupational Hazards on Job Stress and Mental Health of Factory Workers and Miners: A Propensity Score Analysis / Y. Lu, Z. Zhang, H. Yan, B. Rui, J. Liu – DOI 10.1155/2020/1754897 // BioMed Research International. – 2020. – Vol. 2020. – Article No. 1754897. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32904478/> (дата обращения: 10.03.2024).

141. Madahana M. C., Nyandoro O. T., Moroe N. F. Engineering noise control for mines: Lessons from the world / M.C. Madahana, O.T. Nyandoro, N.F. Moroe – DOI 10.4102/sajcd.v67i2.684 // South African Journal of Communication Disorders. – 2020. –

Vol. 67. – № 2. – P. 1–5. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32242445/> (дата обращения: 20.08.2025).

142. Maurya, T. Effect of Heat on Underground Mine Workers / T. Maurya, K. Karena, H. Vardhan, M. Aruna, M. Govinda Raj – DOI 10.1016/j.proeps.2015.06.049 // Procedia Earth and Planetary Science. – 2015. – Vol. 11. – P. 491–498. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878522015001009?via%3Dihub> (дата обращения: 15.08.2025).

143. Miao, L. Hearing loss and hypertension among noise-exposed workers: a pilot study based on baseline data / L. Miao, J. Zhang, L. Yin, Y. Pu – DOI 10.1080/09603123.2022.2050681 // International Journal of Environmental Health Research. – 2022. – Vol. 33(8). – P. 783–795. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35275040/> (дата обращения: 11.12.2024).

144. Nikulin, A.N. Assessment of noise impact on coal mine workers including way to/from workplace / A.N. Nikulin, I.S. Dolzhikov, V.A. Golod, L.V. Stepanova – DOI 10.33271/nvngu/2021-2/151 // Науковий Вісник Національного Гірничого університету. – 2021. – Vol. 2020. – No 2. – P. 151–155.

145. Nikulin, A.N. Increasing labour safety on coal mines / A.N. Nikulin, D.A. Ikonnikov, I.S. Dolzhikov – DOI 10.30534/ijeter/2019/197122019 // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2019. – Vol. 7. – No 12. – P. 842–848.

146. Rabinowitz, P. Feasibility of a daily noise monitoring intervention for prevention of noise-induced hearing loss / P. Rabinowitz, D. Galusha, L.F. Cantley, C. Dixon-Ernst, R. Neitzel – DOI 10.1136/oemed-2020-107351 // Occupational and Environmental Medicine. – 2021. – Vol. 78. – No 11. – P. 835–840. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34215684/> (дата обращения: 03.10.2024).

147. Rushworth, A.M. Role of illumination in reducing risk to health and safety in South African gold and platinum mines / A. Rushworth, C. Talbot, F. Von Glehn, R. Lomas, R. Franz. – Safety in Mines Research Advisory Committee, GAP 804, November, 2001. – VI, 91, [1] p. – URL:

<https://researchspace.csir.co.za/items/3ec5b7f8-c382-4e97-8158-334604a8e115> (дата обращения: 11.03.2024).

148. Roghanchi, P. Challenges in selecting an appropriate heat stress index to protect workers in hot and humid underground mines / P. Roghanchi, C. Karoly, C. Kocsis – DOI 10.1016/j.shaw.2017.04.002 // Safety and Health at Work. –2018. – Vol. 9-1. – P. 10–16. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30363068/> (дата обращения: 18.09.2024).

149. Roghanchi, P. Sensitivity analysis of the effect of airflow velocity on the thermal comfort in underground mines / P. Roghanchi, C. Karoly, C. Kocsis, M. Sunkpal – DOI 10.1016/J.JSM.2017.03.005 // Journal of Sustainable Mining. – 2016. – Vol. 15. – Iss. 4. – P. 175–180. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2300396017300113?via%3Dihub> (дата обращения: 10.06.2024).

150. Rudakov, M. Risk-based thinking as a basis for efficient occupational safety management in the mining industry / M. Rudakov, E. Gridina, J. Kretschmann – DOI 10.3390/su13020470 // Sustainability. – 2021. – Vol. 13. – Iss. 2. – P. 1–14. – URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/470> (дата обращения: 10.05.2025).

151. Shea, T. Leading indicators of occupational health and safety: An employee and workplace level validation study / T. Shea, H.D. Cieri, R. Donohue, B. Cooper, C. Sheehan – DOI 10.1016/j.ssci.2016.01.015 // Safety Science. – 2016. – Vol. 85. – P. 293–304. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753516000291?via%3Dihub> (дата обращения: 18.06.2025).

152. Stasiła-Sieradzka, M. Staff Assessment of the Work Safety Climate and Its Importance to Human Resource Management in Creating a Safe Work Environment: the Cooperative Range of Activities in Human Resource Management and Occupational Health and Safety / M. Stasiła-Sieradzka, M. Znajmiecka-Sikora // Human Resources Management. – 2017. – Vol. 1. – Iss. 5. – P. 39–53. – URL: <https://bibliotekanauki.pl/articles/599308> (дата обращения: 11.10.2024).

153. Stemm, E. Mineworkers' perspective of fatigue: A study of the Ghanaian mining industry / E. Stemm, C.A. Benyarku – DOI 10.1016/j.ssci.2023.106095 // Safety Science. – 2023. – Vol. 162. – Article No 106095. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753523000371?via%3Dihub> (дата обращения: 02.02.2025).

154. Stemm, E. Examining the relationship between safety culture maturity and safety performance of the mining industry / E. Stemm, C. Bofinger, D. Cliff, M.E. Hassall – DOI 10.1016/J.SSCI.2018.12.008 // Safety Science. –2019. – Vol. 113. – P. 345–355. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753518305976?via%3Dihub> (дата обращения: 15.04.2025).

155. Thepaksorn P. Relationship Between Noise-Related Risk Perception, Knowledge, and the Use of Hearing Protection Devices Among Para Rubber Wood Sawmill Workers / P. Thepaksorn, W. Siriwong, R.L. Neitzel, R. Somrongthong, T. Techasrivichien // Safety and Health at Work. – 2018. – Vol. 9.– № 1. – P. 25–29. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30363070/> (дата обращения: 26.07.2024).

156. Wadsworth, E. Safety and health at the heart of the future of work: Building on 100 years of experience / E. Wadsworth, D. Walters. – Geneva: International Labour Office, 2019. – 82 p. – URL: <https://www.ilo.org/publications/safety-and-health-heart-future-work-building-100-years-experience> (дата обращения: 23.05.2024).

157. Webber, R.C.W. A review of local and international heat stress indices, standards and limits with reference to ultra-deep mining / R.C.W. Webber, R.M. Franz, W.M. Marx, P.C. Schutte // The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. – 2023. – Vol. 103. – No. 5. – P. 313–323. – URL: <https://www.saimm.co.za/Journal/v103n05p313.pdf> (дата обращения: 24.05.2024).

158. Zhang, J. Root causes of coal mine accidents: Characteristics of safety culture deficiencies based on accident statistics / J. Zhang, J. Fu, H. Hao, G. Fu, F. Nie, W. Zhang – DOI 10.1016/j.psep.2020.01.024 // Process Safety and Environmental Protection. – 2020. – Vol. 136. – P. 78–91. – URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582019310377>
обращения: 14.03.2025).

(дата

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт об использовании результатов кандидатской диссертации в деятельности ООО «Сибкор»

Утверждаю

Технический директор ООО «Сибкор»

 А.А. Мешков

«25»



АКТ

об использовании результатов
кандидатской диссертации

Красноуховой Дарьи Юрьевны

по научной специальности 2.10.3. Безопасность труда

Специальная комиссия ООО «Сибкор» в составе:

Председатель комиссии:

Новиков А.П. – Директор по производственной безопасности

Члены комиссии:

Черданцев А.М. – Начальник управления технического проектирования, лицензирования и авторского права

Чибитков С.В. – Заместитель директора – начальник управления по охране труда

составили настоящий акт о том, что результаты диссертации на тему «Разработка метода оценки профессионального риска травмирования работников угольных шахт на основе исследования человеческого фактора», представленной на соискание ученой степени кандидата наук, использованы компанией ООО «Сибкор» для повышения эффективности системы управления охраной труда при добыче угля подземным способом.

Разработанный в диссертации метод, основанный на учете негативного воздействия человеческого фактора, дает возможность осуществлять выбор приоритетных адресных мероприятий для превентивного снижения производственного травматизма рабочих угольных шахт.

Председатель комиссии:

Директор по производственной безопасности



Новиков А.П.

Члены комиссии:

Начальник управления
технического проектирования,
лицензирования и авторского права



Черданцев А.М.

Заместитель директора –
начальник управления по охране труда

Чибитков С.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б**Свидетельство о государственной регистрации базы данных****РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ****СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации базы данных

№ 2025621231**База данных мониторинга сниженной
работоспособности и результативности
профессиональной деятельности**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II» (RU)*

Авторы: *Коршунов Геннадий Иванович (RU), Красноухова
Дарья Юрьевна (RU)*

Заявка № **2025620732**Дата поступления **10 марта 2025 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных **18 марта 2025 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ГОСТ Р 50779.42-99 – Коэффициенты для вычисления контрольных карт

Т а б л и ц а 2 – Коэффициенты для вычисления линий контрольных карт

Число наблюдений в подгруппе n	Коэффициенты для вычисления контрольных границ											Коэффициенты для вычисления центральной линии			
	A_1	A_2	A_3	B_3	B_4	B_5	B_6	D_1	D_2	D_3	D_4	C_4	$1/C_4$	d_2	$1/d_2$
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,7979	1,2533	1,128	0,8865
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,8886	1,1284	1,693	0,5907
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,696	0,000	2,282	0,9213	1,0854	2,059	0,4857
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,9400	1,0638	2,326	0,4299
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,000	5,078	0,000	2,004	0,9515	1,0510	2,534	0,3946
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,204	5,204	0,076	1,924	0,9594	1,0423	2,704	0,3698
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,306	0,136	1,864	0,9650	1,0363	2,847	0,3512
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,393	0,184	1,816	0,9693	1,0317	2,970	0,3367
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,687	5,469	0,223	1,777	0,9727	1,0281	3,078	0,3249
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,9754	1,0252	3,173	0,3152
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,922	5,594	0,283	1,717	0,9776	1,0229	3,258	0,3069
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,9794	1,0210	3,336	0,2998
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,9810	1,0194	3,407	0,2935
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,741	0,347	1,653	0,9823	1,0180	3,472	0,2880
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,9835	1,0168	3,532	0,2831
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,9845	1,0157	3,588	0,2784
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,608	0,9854	1,0148	3,640	0,2747
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,487	5,891	0,403	1,597	0,9862	1,0140	3,689	0,2711
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,9869	1,0133	3,735	0,2677
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,9876	1,0126	3,778	0,2647
22	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,659	5,979	0,434	1,566	0,9882	1,0119	3,819	0,2618
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,710	6,006	0,443	1,557	0,9887	1,0114	3,858	0,2592
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,031	0,451	1,548	0,9892	1,0109	3,895	0,2567
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,434	0,559	1,420	1,806	6,056	0,459	1,541	0,9896	1,0105	3,931	0,2544

Примечание — Источник ASTM, Philadelphia, PA, USA.