

*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*

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2026

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор

*Кориунов Геннадий Иванович*

**Официальные оппоненты:**

*Галкин Алексей Валерьевич*

доктор технических наук, общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства», лаборатория производственных рисков, заведующий лабораторией;

*Климова Ирина Викторовна*

кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Высшая школа техносферной безопасности, доцент.

**Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово.

Защита диссертации состоится **30 июня 2026 г. в 11:00** на заседании диссертационного совета ГУ.7 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, аудитория № 1171.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан 30 апреля 2026 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



АФАНАСЬЕВ  
Павел Игоревич

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

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

дель 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.).

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 для 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 недро-

пользования» (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, 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 соис-

кание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных.

**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 приложений. Диссертация изложена на 171 странице машинописного текста, содержит 32 рисунка и 31 таблицу.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** приведено обоснование актуальности темы диссертационной работы, изложены идея, цель и задачи работы, научная новизна, основные защищаемые положения диссертации, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** выполнен анализ причинно-следственных связей при травмировании работников угольной отрасли в системе «человек – техническая система – производственная среда». Выявлены и обоснованы факторы, определяющие существующий уровень травматизма при подземной разработке угольных месторождений, а также установлена необходимость учета человеческого фактора при анализе и управлении профессиональными рисками.

**Во второй главе** изучено понятие «человеческий фактор», проведен анализ структуры негативного воздействия человеческого фактора, а именно ошибочных действий работников, приводящих к реализации опасного воздействия травмирующих факторов. Рассмотрены современные методики анализа и учета человеческого фактора в системе «человек – техническая система – производственная среда». Установлена вероятность влияния ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководства на вероятность травмирования подземного персонала угольных шахт.

**В третьей главе** описаны механизмы влияния ошибочных действий персонала на реализацию горно-технологических, технических и организационных причин травмирования работников. Обоснован метод оценки профессиональных рисков с учетом вероятности реализации травмоопасных событий при влиянии ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководства. Разработана регрессионная модель, которая

позволяет определять значимость ошибок различных категорий работников, включающих управление и принятие решений при управлении технологическим процессом на уровне исполнителей, инженерно-технических работников и руководителей производства. Установлено первостепенное влияние деятельности инженерно-технических работников на безопасное ведение работ.

**В четвертой главе** приведены результаты апробации разработанного метода и даны рекомендации по повышению безопасности труда на угольных шахтах на основе учета коэффициента воздействия человеческого фактора, согласно которому необходимо планировать превентивные мероприятия по снижению риска травмирования работников угольных шахт.

**Заключение** содержит основные выводы и результаты исследования в соответствии с поставленными задачами.

Основные результаты диссертации отражены в следующих защищаемых положениях:

**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.**

Проанализированы несчастные случаи на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» за период с 2013 по 2023 года. Всего за анализируемый период произошло более 300 несчастных случаев. В среднем частота травматизма на угольных шахтах за 10 лет составила 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 %.

Анализ причинно-следственных связей при травмировании персонала позволил выявить ряд причин реализации опасных событий. Обычно принято выделять технические, организационные, технологические и связанные с человеческим фактором причины. Для работ, проводимых в сложных горно-геологических условиях, отдельной причиной травмирования персонала выделяют горно-геологическую. Однако взаимодействие работников в системе «человек – техническая система – производственная среда» имеет

более сложную иерархическую структуру, согласно которой человеческий фактор оказывает воздействие на первопричины реализации горно-геологических и технических опасностей.

Согласно рисунку 1, негативное влияние ошибок и нарушений персонала становится первопричиной воздействия организационных, горно-технологических и технических причин реализации горно-геологических и технических опасностей, приводящих непосредственно к травмам работников. Результат корреляционно-регрессионного анализа (рисунок 2) показал сильную прямую связь между вероятностью ошибочных действий персонала 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 [ $r = 0,99$ ,  $R^2 = 0,99$ ].

Для оценки причин реализации травмоопасных событий было рассмотрено негативное воздействие человеческого фактора в контексте многоуровневой структуры принятия решений на предприятии. Согласно предложенному подходу, его необходимо подразделять на 3 уровня: действия горнорабочих, действия инженерно-технических работников и действия руководства (рисунок 3). Установлено, что ошибки персонала выделенных уровней приводят к травмам различной степени тяжести (рисунок 4).

Оценка причинно-следственных связей при развитии травмоопасных событий позволила определить удельный вес влияния ошибочных действий горнорабочих, ИТР и руководства на реализацию горно-технологических, технических и организационных причин травмирования работников, что представлено на рисунке 5.

Согласно рисунку 5, при нарушениях ИТР и руководства наиболее значимыми причинами ошибочных действий выделены мотивация и квалификация, в то время как для исполнителей процесса значимым становится уровень обеспечения их труда.

Таким образом установлено, что удельный вес частоты ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководства определяет вероятность возникновения организационных, технических и горно-технологических причин развития травмоопасных событий, что необходимо учитывать при разработке метода

оценки профессионального риска 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.**

Метод оценки профессионального риска работников, основанный на оценке человеческого фактора, должен включать:

1. Определение входных параметров: частоты влияния ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководства на причины травмирования работников угольных шахт и уровня риска травмирования персонала;

2. Установление влияния ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководства на риск травмирования персонала с определением приоритетной группы работников, ошибки которых оказывают наиболее значимое воздействие на профессиональный риск травмирования;

3. Разработку и применение превентивных адресных мероприятий по снижению влияния ошибок приоритетной группы персонала в зависимости от установленных причин ошибочных действий.

Алгоритм применения метода представлен на рисунке 6.

**На первом этапе** анализа причин травмирования персонала АО «СУЭК-Кузбасс» была определена вероятность влияния ошибочных действий горнорабочих, инженерно-технических работников и руководства, а также рассчитан профессиональный риск травмирования горнорабочих в результате возникновения и реализации нарушений выделенных категорий работников, который определяется по формуле (1):

$$R_{\text{тр}} = \frac{N}{C}, \quad (1)$$

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

Математическая обработка полученных массивов данных позволила вывести логарифмическую зависимость прогнозного

профессионального риска травмирования персонала  $R_{тр}$  от вероятности влияния ошибочных действий  $R_{чф}$  на каждом уровне принятия решений (рисунок 7), которая описывается уравнением (2):

$$R_{тр} = f(R_{чф}) = a \ln(R_{чф}) + b, \quad (2)$$

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

Коэффициент корреляции, характеризующий взаимосвязь между общим риском травмирования и вероятностью влияния ошибочных действий, для горнорабочих составляет 0,93, для ИТР – 0,96, для руководства – 0,93, где положительное значение связи свидетельствует о наличии прямой зависимости, то есть при увеличении частоты негативного воздействия человеческого фактора происходит увеличение риска производственного травматизма.

Коэффициент детерминации показывает, что ошибочные действия горнорабочих, ИТР и руководства определяют профессиональный риск травмирования работников на 75, 98 и 87 процентов соответственно. Проверка модели по методу остатков показывает, что отсутствует постоянное однонаправленное воздействие неучтенных факторов.

Проверка модели по уровню статистической значимости ( $p$ -значение) и критерию Стьюдента ( $t$ -критерий), позволила установить наиболее значимые уровни воздействия персонала для каждой из рассмотренных шахт (таблица 1).

**Второй этап** заключается в определении приоритетной группы персонала за счет оценки корреляционно-регрессионной зависимости риска травмирования работников угольных шахт от вероятности ошибочных действий горнорабочих, ИТР и руководства по уравнению (3):

$$R_{тр}^{Общ} = a_0 + a_1 \cdot R_{чф}^Г + a_2 \cdot R_{чф}^{ИТР} + a_3 \cdot R_{чф}^Р + e \quad (3)$$

где  $R_{тр}^{Общ}$  – профессиональный риск травмирования работников;  $a_0$  – свободный член;  $a_1$ - $a_3$  – весовые коэффициенты;  $R_{чф}$  – вероятность ошибочных действий на уровне горнорабочих, ИТР и руководства.  $e$  – ошибка модели.

Полученные значения риска и наиболее значимые группы персонала для исследуемых шахт приведены в таблице 1.

Коэффициент детерминации для каждой из рассмотренных шахт 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 «Галдинская-Западная-1», где зависимость составляет более 70%. При проверке модели по методу остатков получаем, что они не коррелируют между собой, то есть отсутствует место постоянного однонаправленного воздействия на риск травмирования работников не учтенных и исключенных факторов.

Согласно полученным значениям, наибольший уровень статистической значимости для исследуемых шахт имеет частота негативного воздействия при действиях ИТР. Данная категория работников обеспечивает большой спектр направлений деятельности независимых друг от друга структурных подразделений. В исследовании было рассмотрено 4 вида деятельности ИТР (рисунок 3), по которым были сформированы статистически значимые выборки данных, включающие вероятность ошибочных действий: при обеспечении состояния машин и механизмов ( $X_1$ ), при обеспечении состояния проходов и рабочих мест ( $X_2$ ), при обеспечении работников ( $X_3$ ) и организации производственных процессов ( $X_4$ ).

С учетом влияния показателей с выявленной статистически значимой связью проведен многофакторный регрессионный анализ, в результате чего получена регрессионная модель (4), отражающая воздействие вероятности ошибочных действий на риск реализации ошибок ИТР  $R_{чф}^{ИТР}$ :

$$R_{чф}^{ИТР} = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + e, \quad (4)$$

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 статистиче-

ской значимости вероятности воздействия ошибок ИТР в четырех рассмотренных направлениях (таблица 2).

Таким образом, в целях снижения общего риска травмирования работников, необходимо разрабатывать адресные мероприятия, направленные на снижение причин нарушений и ошибок персонала различных уровней управления технологическим процессом.

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

Анализ нарушений и ошибок персонала показал необходимость рассмотрения классификации причин возникновения аварийных ситуаций и травматизма на угольных шахтах, основанную на анализе готовности персонала к безопасному выполнению работ (рисунок 3). Классификация позволяет рассматривать человеческий фактор через призму четырех ключевых причин: квалификация, мотивация, психофизиология и обеспечение работников. Такой анализ позволяет перейти от поиска виновного работника к диагностике системных сбоев в управлении охраной труда и предприятием в целом.

Таким образом, *на третьем этапе* предложенного метода проводится анализ и разработка превентивных адресных мероприятий по снижению влияния ошибок ИТР. Согласно рисунку 5, наиболее частыми причинами нарушений со стороны ИТР являются низкая квалификация и мотивация, а также, при рассмотрении организации труда, недостаточное обеспечение.

Поскольку каждый из рассмотренных показателей и методов имеет свою шкалу оценки, итоговые значения переводятся в баллы согласно таблице 3, по которым рассчитывается коэффициент безопасного ведения работ персоналом  $K$  для каждой группы причин по формуле (5):

$$K = \sum \frac{f_i}{f_{max}} \cdot 10^{(f_i - f_{max} + 1)} \quad (5)$$

где  $f_{max}$  – максимальная бальная оценка;

$f_i$  – бальная оценка  $i$ -го фактора.

Апробация полученной многофакторной регрессионной модели позволила выполнить ранжирование наиболее значимых

структурных подразделений для каждой из действующих шахт, ошибки которых чаще всего приводят к травмированию подземного персонала (таблица 4).

Показатель профессионального риска травмирования работника является функцией от частоты воздействия человеческого фактора. При его определении необходимо учитывать высокие и чрезмерно высокие значения коэффициента  $K$  для каждой группы работников по формуле (6):

$$K_i = \max (K_M; K_K; K_{пф}; K_O) \quad (6)$$

где  $i$  – рассматриваемая группа персонала.

В результате прогнозное значение риска рассчитывается по формуле (7):

$$R_{\text{прог}} = a_0 + a_1 \cdot K_{\Gamma} \cdot R_{\text{чф}}^{\Gamma} + a_2 \cdot K_{\text{ИТР}} \cdot R_{\text{чф}}^{\text{ИТР}} + a_3 \cdot K_{\text{Р}} \cdot R_{\text{чф}}^{\text{Р}} + e \quad (7)$$

Сравнение полученных и рекомендуемых значений показателя риска приведено в таблице 5.

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 необходимо проводить обучение менеджменту и культуре безопасности труда с применением современных моделей управления, в частности модели П. Хадсона с рассмотрением сильных и слабых сторон имеющегося 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 предложенных мероприятий позволит снизить прогнозируемые значения риска в таблице 5 до допустимых.

Рассмотренные ключевые причины могут проявляться на всех уровнях управления технологическим процессом в структуре предприятия, но последствия будут различными. Разработанный алгоритм оценки профессионального риска травмирования работников позволит подобрать адресные мероприятия для предупреждения негативного воздействия человеческого фактора во всех структурах предприятия, а также проводить ранжирование наиболее значимых направлений принятия решений и разрабатывать планы по улучшению системы безопасности в подразделениях, на объекте и предприятии в целом.

### **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 ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Публикации в изданиях из Перечня ВАК:*

1. 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.

2. 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.

*Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:*

3. 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.

4. 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 [и др.] – DOI 10.25018/0236\_1493\_2022\_61\_0\_157 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6-1. – С. 157-173.

*Публикации в прочих изданиях:*

5. Korshunov, G.I., Substantiation of a Comprehensive Approach for Evaluating 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;39(06):1482-95.

6. **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.

7. **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.

*Свидетельство на объект интеллектуальной собственности:*

7. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621231 Российская Федерация. База данных мониторинга сниженной работоспособности и результативности профессиональной деятельности. Заявка № 2025620732: заявл. 10.03.2025: опубл. 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.

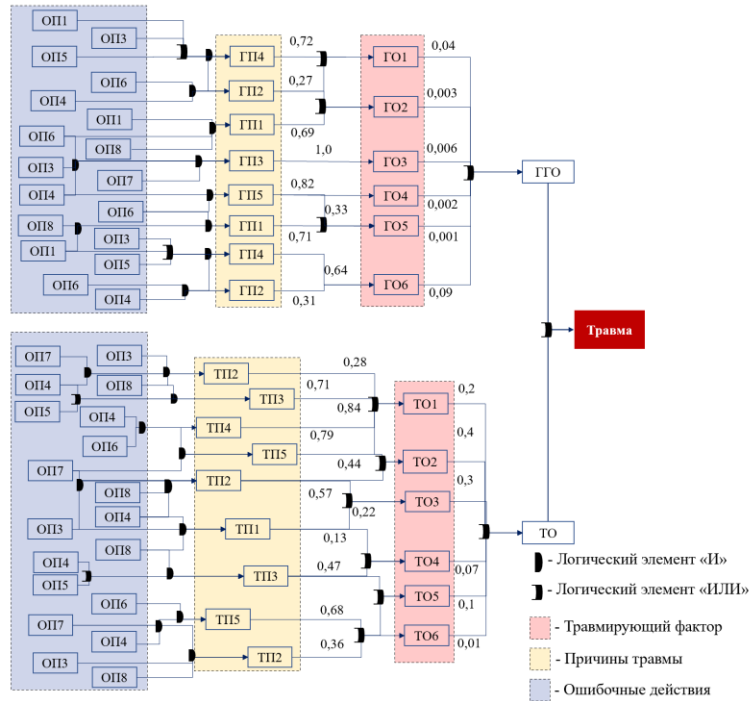


Рисунок 1 – Графическая схема причинно-следственных связей развития травмоопасных ситуаций

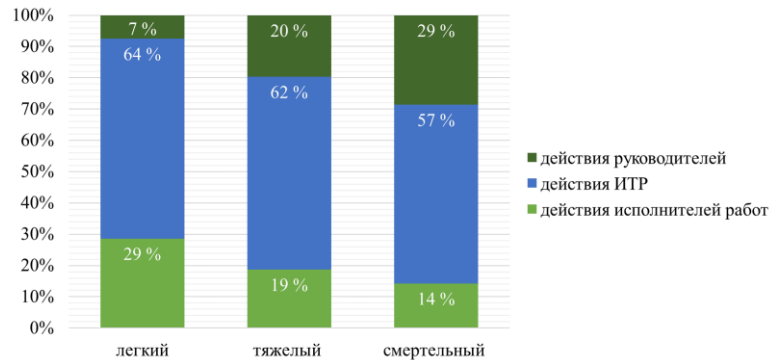


Рисунок 4 – Доля влияния персонала различных уровней управления технологическим процессом на тяжесть травм

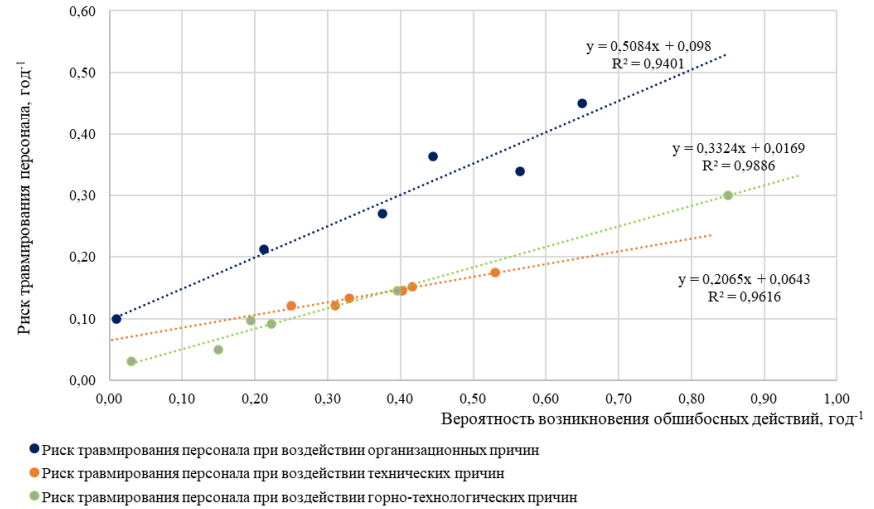


Рисунок 2 – Зависимость риска травмирования работников от частоты ошибочных действий по причинам



Рисунок 3 – Классификация причинно-следственных связей реализации человеческого фактора в системе предприятия

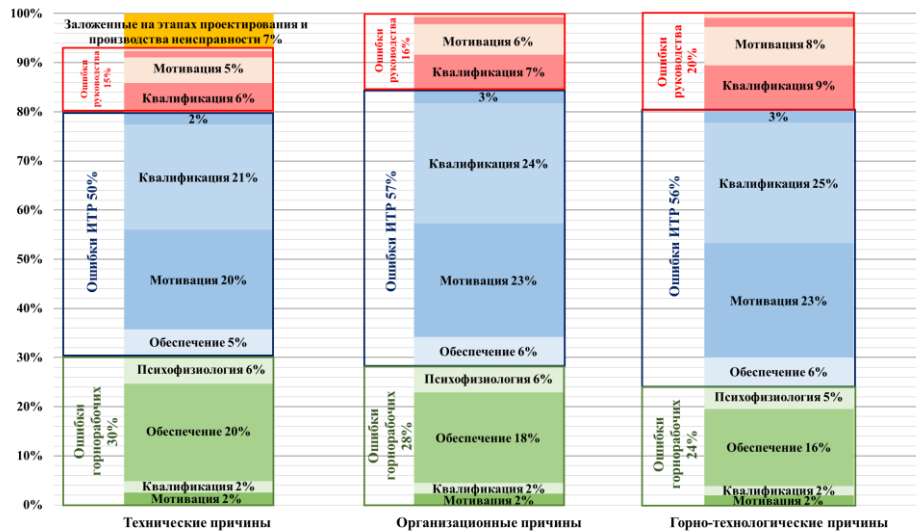


Рисунок 5 – Удельный вес ошибочных действий персонала при реализации горно-технологических, технических и организационных причин

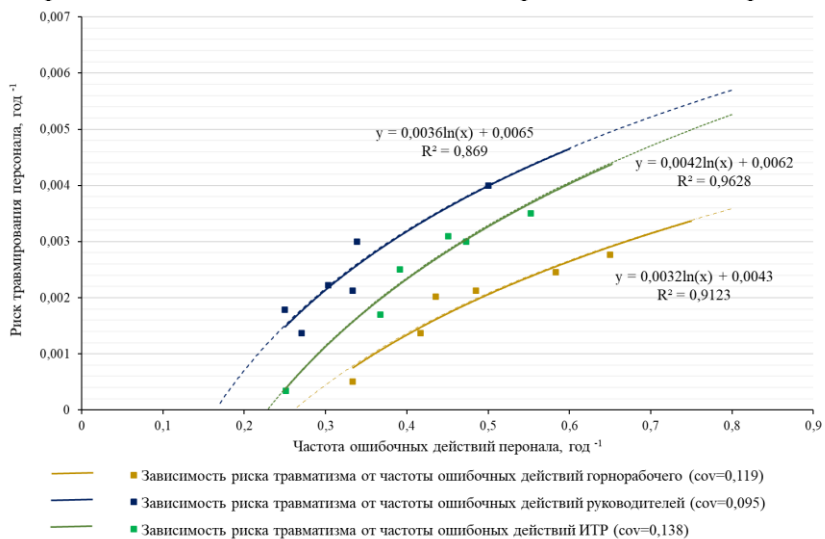


Рисунок 7 – Зависимость риска производственного травматизма от вероятности ошибочных действий персонала

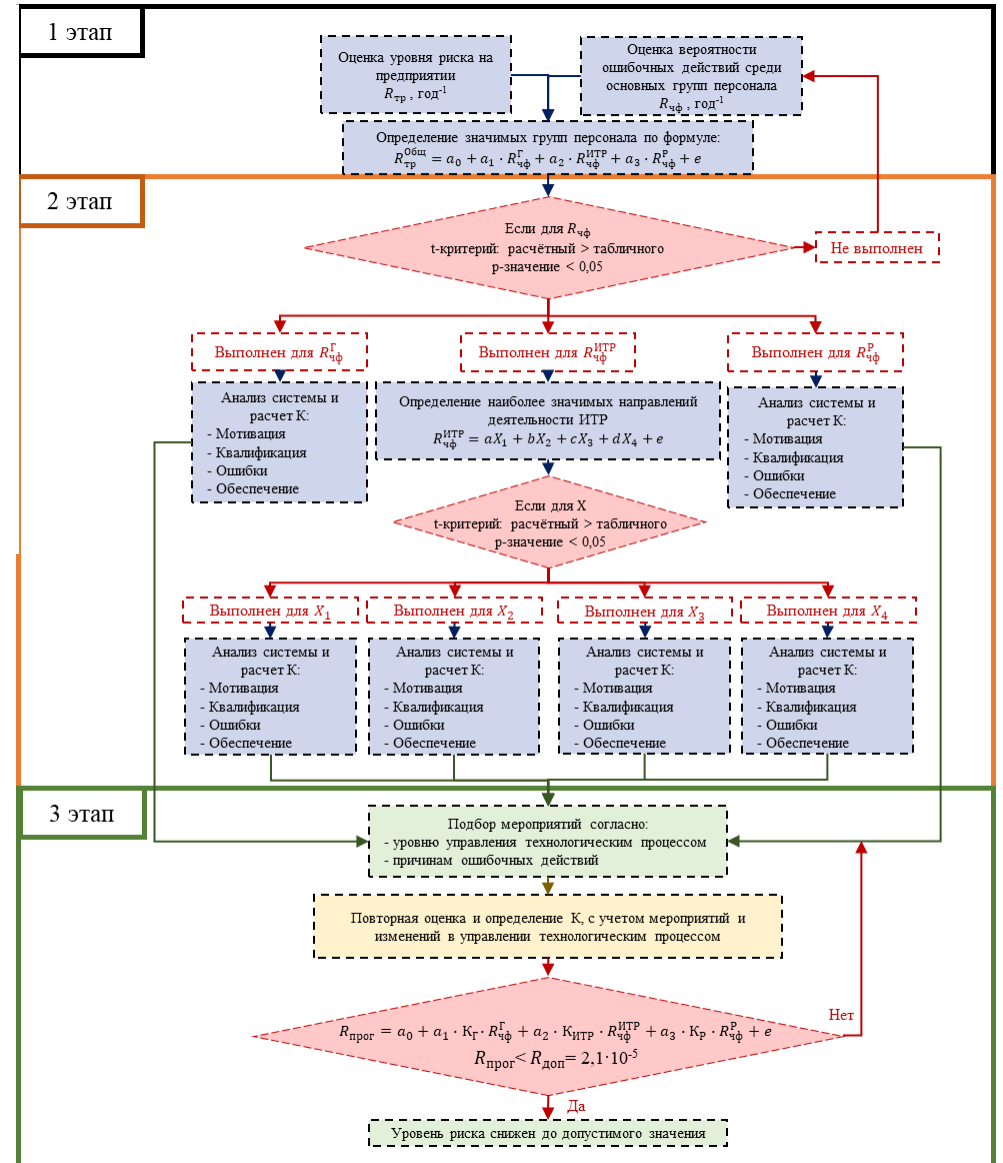


Рисунок 6 – Алгоритм применения метода оценки рисков, учитывающего вероятность ошибочных действий персонала различных уровней управления технологическим процессом

Таблица 1 – Учет влияния ошибочных действий горнорабочих, ИТР и руководства на профессиональный риск травмирования работников

Предприятие	Горнорабочие				ИТР				Руководство				Уровень риска, год <sup>-1</sup>	Группа персонала
	Коэф. кор.	P-знач.	t-крит. (расч./табл.)	R <sup>2</sup>	Коэф. кор.	P-знач.	t-крит. (расч./табл.)	R <sup>2</sup>	Коэф. кор.	P-знач.	t-крит. (расч./табл.)	R <sup>2</sup>		
Шахта «Им. В.Д. Ялевского»	0,345	0,298	1,10/ 2,2	0,1191	<b>0,9428</b>	<b>0,000014</b>	<b>8,48/ 2,2</b>	<b>0,9268</b>	<b>0,903</b>	<b>0,00013</b>	<b>6,32/ 2,2</b>	<b>0,816</b>	4,4·10 <sup>-3</sup>	горнорабочие и ИТР
Шахта «Талдинская-Западная-1»	0,515	0,104	1,8/ 2,2	0,2653	<b>0,8739</b>	<b>0,0004</b>	<b>5,39/ 2,2</b>	<b>0,8366</b>	0,405	0,21	1,33/ 2,2	0,164	5,7·10 <sup>-3</sup>	все рассмотренные группы
Шахта «Талдинская-Западная-2»	0,262	0,437	0,81/ 2,2	0,068	<b>0,9211</b>	<b>0,00005</b>	<b>3,617/ 2,2</b>	<b>0,8331</b>	0,416	0,20	1,37/ 2,2	0,174	2,6·10 <sup>-3</sup>	ИТР
Шахта «Им. С.М. Кирова»	0,316	0,34	1,0/ 2,2	0,100	<b>0,9493</b>	<b>0,000008</b>	<b>9,06/ 2,2</b>	<b>0,9109</b>	0,836	0,00019	5,27/ 2,2	0,698	3,3·10 <sup>-3</sup>	ИТР
Шахта «Комсомолец»	<b>0,889</b>	<b>0,00002</b>	<b>6,74/ 2,2</b>	<b>0,791</b>	<b>0,9449</b>	<b>0,00078</b>	<b>4,96/ 2,2</b>	<b>0,9362</b>	<b>0,888</b>	<b>0,00002</b>	<b>6,69/ 2,2</b>	<b>0,788</b>	6,5·10 <sup>-3</sup>	ИТР
Шахта «Им. А.Д. Рубана»	0,017	0,96	0,05/ 2,2	0,0003	<b>0,8557</b>	<b>0,000012</b>	<b>8,66/ 2,2</b>	<b>0,8214</b>	-0,323	0,33	-1,02/ 2,2	0,105	3,1·10 <sup>-3</sup>	ИТР

Таблица 2 – Регрессионные модели значимости ошибочных действий различных групп ИТР для рассмотренных шахт

Анализируемая шахта	Уравнение регрессии	P-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 «Талдинская-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 «Талдинская-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	

Таблица 3 – Показатели оценки причин нарушений для расчета коэффициента безопасного ведения работ К

1. Квалификация	
Профессиональная подготовленность	5ти бальная шкала, где 1 – высокий, 5 – низкий уровень подготовки
Подготовка по ОТ и ПБ	
2. Мотивация	
Уровень культуры безопасности труда	5-ти бальная шкала, где 5 – низкий, 1 – высокий уровень культуры безопасности труда
3. Профилактика ошибок	
Психофизиологический потенциал	4х бальная шкала, где 4 – высокий, 1 – низкий уровень утомления
Склонность к риску	3х бальная шкала, где 3 – высокая, 1 – низкая склонность к риску
4. Обеспечение	
Выполнения должностных требований	5ти бальная шкала, где 1 – 100% задач, 5 – менее < 20
Соответствие требованиям механизмов, рабочих мест, проходов, выработок и т.д.	5ти бальная шкала, выставляется по количеству установленных нарушений

Таблица 4 – Ранжирование первопричин воздействия человеческого фактора по значению коэффициент безопасного ведения работ персоналом К

Анализируемая шахта	Определяющий человеческий фактор	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

Таблица 5 – Оценка риска негативного воздействия групп персонала

Предприятие	Статистический уровень риска $R_{гр}^{общ}, год^{-1}$	Прогнозный уровень риска $R_{ср}, год^{-1}$	Допустимый уровень риска $R_{доп}, год^{-1}$
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»	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	