

*На правах рукописи*

**Прохорова Елизавета Александровна**



**ОБОСНОВАНИЕ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ  
СНИЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА И  
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ В УГОЛЬНОЙ  
ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО  
ПОДХОДА**

*Специальность 2.10.3. Безопасность труда*

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

Санкт-Петербург – 2023

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

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор

*Гендлер Семен Григорьевич*

**Официальные оппоненты:**

*Фомин Анатолий Иосифович*

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», кафедра аэрологии, охраны труда и природы, заведующий кафедрой;

*Смолин Антон Вячеславович*

кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», кафедра безопасность жизнедеятельности, доцент.

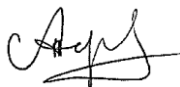
**Ведущая организация** – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва.

Защита диссертации состоится **28 июня 2023 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 № 1171а.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан 28 апреля 2023 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



АФАНАСЬЕВ  
Павел Игоревич

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования:**

Несмотря на значительные финансовые вложения в систему безопасности труда, показатели производственного травматизма и профессиональных заболеваний в горнодобывающем секторе России остаются недопустимо высокими по сравнению с аналогичными показателями ведущих зарубежных стран. Так, риск смертельного травматизма в горнодобывающей промышленности России превышает риск в Канаде и США в 3,5 и 1,25 раза соответственно. Эта тенденция особенно характерна для угольной отрасли, где при сокращении случаев профессиональных заболеваний и общего травматизма, включающего легкие, тяжелые и смертельные случаи, за последние 10 лет почти в три раза уменьшение несчастных случаев с тяжелыми и смертельными последствиями было незначительным.

Одним из ведущих угледобывающих регионов России является Кемеровская область, где сосредоточено 15 компаний, осуществляющих добычу угля, как подземным, так и открытым способами. Результативность работы этих компаний в значительной степени зависит от возможности обеспечения необходимых уровней травматизма и профзаболеваний, на которые помимо факторов производственной среды влияет, так называемый фоновый риск, связанный с неблагоприятной экологической и климатической обстановкой региона. АО «СУЭК-Кузбасс» входит в перечень крупнейших угольных компаний в Кемеровской области и включает 7 шахт и 3 разреза, состояние охраны труда на которых существенно различно. Очевидно, что вложение финансовых средств в систему охраны труда каждого из предприятий компании должно осуществляться с помощью адресного подхода, который должен базироваться на выделении объектов, характеризующихся наиболее низким уровнем безопасности.

Разработка методологии определения приоритетных направлений снижения рисков производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, позволяющая повысить безопасность труда горнорабочих, определяет актуальность диссертационной работы.

### **Степень разработанности темы исследования:**

Вопросами разработки методов оценки показателей производственного травматизма и профессиональных заболеваний, в том

числе на основе риск-ориентированного подхода, и обоснованию мероприятий по их снижению были посвящены исследования многих отечественных и зарубежных ученых: Воробьевой О.В., Галкина В.А., Гендлера С.Г., Господарикова Д.А., Гридиной Е.Б., Калединой Н.О., Кабанова Е.И., Костеренко В.Н., Кравчука И.Л., Макарова А.М., Неволной Е.М., Рудакова М.Л., Самарова Л.Ю., Смолина А.В., Тимашова А.В., Файнбурга Г.З., Фомина А.И., Шувалова Ю.В., Jie Zhou, Joy Jim, Kumral Mustafa, Maiti Jhareshwar, Vardar Onur, C. Whittaker и других авторов. В этих исследованиях предложены методы раздельной оценки значений рисков производственного травматизма и профзаболеваний, основанные на вычислении величин рисков, исходя из количества пострадавших и общей численности рабочего персонала, участвующих в производственном процессе. Вместе с тем, в перечисленных работах недостаточно внимания было уделено экономическим последствиям травматизма и профзаболеваний, без учета которых выбор приоритетных направлений не может считаться достаточно обоснованным. В этой связи, обоснование комплексного показателя для оценки сочетанного действия травматизма и профзаболеваний с учетом возникающих от них экономических ущербов является актуальной задачей.

**Объект исследования** - производственный травматизм и профессиональные заболевания в угольной отрасли.

**Предмет исследования** - риск-ориентированный подход для снижения производственного травматизма и профессиональной заболеваемости на угольных шахтах.

**Цель работы** – снижение уровня производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в угольных компаниях на основе адресной реализации компенсирующих мероприятий.

**Идея работы:** снижение травматизма и профзаболеваний в угольной компании должно осуществляться за счет выбора первоочередного объекта для реализации компенсирующих мероприятий, определяемого на основе комплексного показателя, включающего риски травматизма и профзаболеваний, и экономические ущербы от каждого из них, а также учета тесноты корреляционной связи между рисками травматизма и профзаболеваниями.

Основные задачи исследования:

1. Анализ рисков производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в угледобывающих регионах России.

2. Установление взаимосвязи между рисками производственного травматизма и профессиональной заболеваемостью горнорабочих.

3. Разработка методики оценки комплексного показателя, определяющего сочетанное действие рисков травматизма и профзаболеваний, включающих их фоновые значения и экономические ущербы.

4. Ранжирование угольных шахт по величине коэффициента, учитывающего сравнительную динамику интегрального риска, с целью определения приоритетных направлений повышения безопасности труда.

5. Оценка рисков производственного травматизма и профессиональной заболеваемости на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс».

6. Определение тесноты связи между рисками производственного травматизма и профзаболеваний различной этиологической природы при подземной добыче угля.

7. Апробация промышленного экзоскелета для снижения тяжести труда горнорабочих.

#### **Научная новизна работы:**

1. Выявлена корреляционная зависимость между риском производственного травматизма и профессиональной заболеваемостью как для угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс», так и в целом для Кемеровской области, где осуществляется интенсивная добыча угля.

2. Обоснован комплексный показатель для оценки состояния охраны труда для угледобывающих предприятий России, определяемый суммой математических ожиданий производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, вычисленных с учетом фоновых значений рисков региона.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

1. Выявлена взаимосвязь между профессиональными заболеваниями и производственным травматизмом в Кемеровской области.

2. Разработана методика вычисления комплексного показателя, характеризующего интегральный риск травматизма и профзаболеваний, рассчитываемый как сумма математических ожиданий

производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, вычисленных с учетом фоновых значений рисков региона и экономического ущерба от этих рисков.

3. Осуществлено ранжирование угольных шахт, входящих в структуру АО «СУЭК-Кузбасс», по величине динамики интегрального риска производственного травматизма и профзаболеваний.

4. Установлена тесная связь между производственным травматизмом и профессиональной заболеваемостью от фактора физических нагрузок горнорабочих при подземной добыче угля.

5. Определены приоритетные направления снижения травматизма и профзаболеваний на угольных шахтах.

6. Доказана эффективность использования промышленного экзоскелета для снижения тяжести труда горнорабочих.

7. Результаты диссертационной работы использованы в производственной деятельности АО «СУЭК» для повышения эффективности функционирования системы управления охраной труда.

8. Результаты диссертационной работы подтверждены свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021612666 «Программа для расчета риска производственного травматизма» от 20.02.2021 г.

#### **Методология и методы исследования.**

Анализ литературных источников по вопросам обеспечения безопасности труда и методам оценки рисков в горнодобывающей промышленности России и зарубежных стран.

Статистическая обработка данных по производственному травматизму и профзаболеваниям в угледобывающих регионах России и на угольных шахтах Кузбасса на основе использования корреляционно-регрессионного метода.

Экспериментальные исследования эффективности применения промышленного экзоскелета для снижения тяжести труда горнорабочих.

#### **На защиту выносятся следующие положения:**

1. Выбор управленческих решений по охране труда на угольных шахтах должен осуществляться на основе комплексного показателя, рассчитываемого по величине интегрального риска, определяемого как сочетанное действие рисков травматизма и

профзаболеваний, включающих их фоновые значения, а также экономические ущербы.

2. Для определения приоритетов при планировании работ по охране труда в угольных компаниях, включающих несколько шахт, выбор первоочередного объекта для реализации мероприятий, гарантирующих снижение уровня травматизма и профзаболеваний в компании, следует осуществлять на основе сопоставления коэффициентов, учитывающих сравнительную динамику интегрального риска травматизма и профзаболеваний для каждой шахты и компании в целом.

3. Приоритетные направления снижения травматизма и профзаболеваний на угольных шахтах следует устанавливать на основании анализа тесноты корреляционных связей между рисками травматизма и профзаболеваний, при этом уменьшение рисков производственного травматизма на работах, связанных с высокой тяжестью труда, может быть достигнуто за счет сокращения риска профессиональной заболеваемости в результате использования экзоскелетов.

**Степень достоверности результатов исследования** подтверждается использованием математических методов обработки статистических данных, применением лицензионного программного обеспечения для проведения расчетов и данными экспериментальных исследований по определению эффективности использования промышленного экзоскелета.

**Апробация результатов.** Результаты работы докладывались на следующих научных конференциях и симпозиумах: VI International scientific conference management, economics, ethics, technics - МБЕТ 2020 (г. Санкт-Петербург, 2020 г.); X Международная научно-техническая конференция «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: Эффективное освоение месторождений полезных ископаемых» (г. Санкт-Петербург, 2020 г.); XXIX Международный научный симпозиум «Неделя горняка 2021» (г. Москва, 2021 г.); XIX Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.); IV Международная научно-практическая конференция «Горное дело в XXI веке: техно-

логии, наука, образование» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.); XXX Международный научный симпозиум «Неделя горняка 2022» (г. Москва, 2022 г.); XXXI Международный научный симпозиум «Неделя горняка 2023» (г. Москва, 2023 г.).

**Личный вклад автора** заключается в анализе зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследования безопасности труда и оценки рисков. Проведен статистический анализ показателей производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в России и в АО «СУЭК-Кузбасс». Разработана методика оценки интегрального риска травматизма и профзаболеваний. Проведены теоретические и экспериментальные исследования, в результате которых обоснованы приоритетные направления снижения уровня производственного травматизма и профессиональной заболеваемости на угольных шахтах.

**Публикации.** Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 8 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 соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 4 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и систему цитирования Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура работы.** Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами, заключения, списка литературы, включающего 117 наименований. Работа изложена на 154 страницах машинописного текста, содержит 64 рисунка, 13 таблиц и 2 приложения.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю признательность доктору технических наук, профессору Семену Григорьевичу Гендлеру за научное руководство над работой. За помощь при выполнении экспериментальной части диссертационного исследования автор выражает благодарность кандидату медицинских наук, доценту Максиму Валентиновичу Туманову. За ценные научные консультации благодарность всему коллективу кафедры безопасности производств Горного университета.



## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** изложены актуальность исследования, цель, задачи работы, научная новизна и основные защищаемые положения диссертации.

**В первой главе** выполнено сопоставление смертельных несчастных случаев на производстве в различных странах и осуществлен анализ показателей профессиональной заболеваемости и производственного травматизма в горнодобывающей промышленности России. Выявлено, что за 10-летний период при добыче полезных ископаемых в России отмечается снижение количества легких и тяжелых несчастных случаев, а также профзаболеваний при неизменном количестве смертельных несчастных случаев.

**Во второй главе** дано описание современных методов оценки рисков производственного травматизма и профессиональных заболеваний. Рассмотрены количественные и экспертные методы оценки рисков, а также перспективные методы на основе вейвлет- и фрактального анализа. Показано, что для оценки и определения структуры рисков в угольной промышленности наиболее рационален корреляционно-регрессионный метод.

**В третьей главе** изложены результаты исследования по оценке рисков производственного травматизма и профзаболеваний в угледобывающих регионах России. Представлена методика оценки интегрального риска, определяемого как сочетанное действие рисков травматизма и профзаболеваний. Осуществлено ранжирование угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» по величине коэффициента, учитывающего сравнительную динамику интегрального риска с целью выбора приоритетных направлений обеспечения безопасности труда.

**В четвертой главе** осуществлен корреляционный анализ тесноты связи между рисками производственного травматизма и профессиональной заболеваемостью различной этиологической природы. Осуществлена оценка рисков производственного травматизма и профзаболеваний на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» с последующим определением приоритетных направлений снижения данных показателей. Изложены результаты экспериментального исследования по использованию экзоскелета при выполнении работ, связанных со значительными физическими нагрузками.

**В заключении** обобщены результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

Основные результаты диссертации отражены в следующих защищаемых положениях:

**1. Выбор управленческих решений по охране труда на угольных шахтах должен осуществляться на основе комплексного показателя, рассчитываемого по величине интегрального риска, определяемого как сочетанное действие рисков травматизма и профзаболеваний, включающих их фоновые значения, а также экономические ущербы.**

Производственный травматизм и профзаболевания в угольной промышленности являются последствиями воздействия на рабочий персонал опасных и вредных факторов, сопутствующих добыче угля. Причины, инициирующие эти факторы, различны по своему происхождению, степени влияния и конечному результату. Их совокупное влияние на травматизм и профзаболевания имеет стохастическую природу, которая затрудняет осуществление индивидуальной оценки воздействия каждого из этих факторов. В этой связи, в работе использована модель «черного ящика», основанная на учете входных и выходных данных. Первые характеризуют такие показатели конкретной шахты, как численность производственного персонала, размер инвестиций в охрану труда, продолжительность периода добычных работ. Вторые - количество травмированных и заболевших рабочих, а также величины экономического ущерба в течение рассматриваемого периода. Нельзя забывать и о фоновом уровне травматизма и заболеваемости, который связан с климатическими и экологическими условиями района, где проживают люди, работающие на предприятии.

Модель «черного ящика» априорно определяет выбор показателя и метода изучения стохастических процессов, следствием которых является травматизм и профзаболевания. В частности, для сопоставительного анализа травматизма и профзаболеваний на шахтах, входящих в состав компании, следует использовать показатель интегрального риска, для вычисления которого наиболее рационален метод корреляционно-регрессионного анализа, позволяющий установить взаимосвязь общих рисков травматизма и профзаболеваний с показателями, характеризующими особенности работы каждого предприятия.

Для расчета интегрального риска травматизма и профзаболеваний  $M_{н.в.}$  предлагается использовать сумму математических ожиданий рисков производственного травматизма  $R_{тр} \cdot Y_{тр}$  и профзаболеваний  $R_{пз} \cdot Y_{пз}$ , где  $Y_{тр}$  и  $Y_{пз}$  представляют собой экономические ущербы соответственно от травматизма и профзаболеваний (формула 1).

$$M_{н.в.} = R_{тр} \cdot Y_{тр} + R_{пз} \cdot Y_{пз} \quad (1)$$

В основе расчета фонового риска травматизма и профзаболеваний лежит допущение о том, что риски производственного травматизма и профзаболеваний являются результатом сочетанного действия двух видов риска: общего риска, определяемого средним уровнем риска в регионах России с благоприятными климатическими и экологическими условиями ( $R_{\Sigma ОР_{тр}}$ ,  $R_{\Sigma ОР_{пз}}$ ), и риска конкретного региона, в котором эти условия следует принимать во внимание ( $R_{\Sigma Р_{тр}}$ ,  $R_{\Sigma Р_{пз}}$ ). Уравнения, связывающие эти риски, получены на основе формулы для вычисления вероятности совместных событий (формулы 2-3).

$$R_{\Sigma Р_{тр}} = R_{\Sigma ОР_{тр}} + R_{ф.тр} - R_{\Sigma ОР_{тр}} \cdot R_{ф.тр} \quad (2)$$

$$R_{\Sigma Р_{пз}} = R_{\Sigma ОР_{пз}} + R_{ф.пз} - R_{\Sigma ОР_{пз}} \cdot R_{ф.пз} \quad (3)$$

Соответственно несложно выразить величину фонового риска (формулы 4-5).

$$R_{ф.тр} = (R_{\Sigma Р_{тр}} - R_{\Sigma ОР_{тр}}) / (1 - R_{\Sigma ОР_{тр}}) \quad (4)$$

$$R_{ф.пз} = (R_{\Sigma Р_{пз}} - R_{\Sigma ОР_{пз}}) / (1 - R_{\Sigma ОР_{пз}}) \quad (5)$$

В результате преобразования формул 1, 4, 5, получена формула 6 для определения интегрального риска травматизма и профзаболеваний.

$$M_{н.в.} = (R_{тр} + (R_{\Sigma Р_{тр}} - R_{\Sigma ОР_{тр}}) / (1 - R_{\Sigma ОР_{тр}})) \cdot Y_{тр} + (R_{пз} + (R_{\Sigma Р_{пз}} - R_{\Sigma ОР_{пз}}) / (1 - R_{\Sigma ОР_{пз}})) \cdot Y_{пз} \quad (6)$$

Необходимость учета фоновых рисков травматизма и профзаболеваний, характеризующих влияние факторов окружающей среды на величину интегрального риска, подтверждается их сравнительно высоким вкладом в величины суммарных рисков травматизма и профзаболеваний. Так, среднее значение фонового риска травматизма в структуре общего риска травматизма равно 28,74%, а значение фонового риска профзаболеваний в структуре общего риска

профзаболеваний составляет 29,9%. При этом, для Кемеровской области характерна тенденция снижения «фоновых значений риска» к концу 2021 года.

Анализ рисков производственного травматизма и профзаболеваний для угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» свидетельствует о их снижении в период 2011 - 2021 годов. Однако, несмотря на это, компания несет существенные финансовые потери от этих факторов.

Наибольшая величина экономического ущерба от травматизма в среднем за рассматриваемый период, связана с упущенной выгодой вследствие переплаты отчислений в ФСС (более 58 %). Наименьший вес в структуре экономического ущерба от травматизма составляют затраты на компенсацию и реабилитацию пострадавших (рисунок 1).

На рисунке 2 представлены значения экономического ущерба от травматизма и профзаболеваний, рассчитанные на одного человека. Пиковое значение отмечается в 2014-2015 году, после чего величина ущерба уменьшается в среднем на 20%. Таким образом, можно отметить немонотонный вид зависимости экономического ущерба от травматизма за 10-летний период с выраженным максимальным значением.

Интегральный риск травматизма и профзаболеваний в АО «СУЭК-Кузбасс» к концу 2021 года снизился в 3,5 раза (рисунок 3), что свидетельствует о положительном влиянии принимаемых компанией мер по снижению травматизма и профзаболеваний на безопасность труда. Дальнейший выбор управленческих решений повышения безопасности труда в среднесрочной и долгосрочной перспективах будет определяться адресным финансированием мероприятий по снижению травматизма и профзаболеваний в соответствии с установленными приоритетными направлениями.

**2. Для определения приоритетов при планировании работ по охране труда в угольных компаниях, включающих несколько шахт, выбор первоочередного объекта для реализации мероприятий, гарантирующих снижение уровня травматизма и профзаболеваний в компании, следует осуществлять на основе сопоставления коэффициентов, учитывающих сравнительную**

**динамику интегрального риска травматизма и профзаболеваний для каждой шахты и компании в целом.**

Выбор приоритетных направлений повышения безопасности труда в компании АО «СУЭК-Кузбасс», включающей 7 шахт, предполагает определение объекта, характеризующегося худшими показателями травматизма и профзаболеваний. Для каждой шахты влияние на травматизм и профзаболеваемость горнотехнических и управленческих факторов существенно различно, что затрудняет использование традиционных методических подходов, поэтому для их ранжирования по показателям травматизма и профзаболеваний предлагается использовать отношение динамик интегральных рисков травматизма и профзаболеваний каждой шахты и компании в целом.

Параметры, характеризующие динамики интегрального риска шахт и компании, устанавливаются на основе представления результатов вычисления  $M_{н.в.}$  по формуле 6 в виде корреляционных зависимостей интегрального риска травматизма и профзаболеваний за рассматриваемый период работы предприятий  $T$  (год). Вид корреляционных зависимостей (линейный, экспоненциальный или степенной) выбирается по максимальному значению коэффициентов детерминации или корреляционного отношения (для функций, отличных от линейной функции) и непротиворечивой логике характера их изменения в пределах и за пределами рассматриваемого периода (значение интегрального риска не должно принимать нулевое значение). Как показали результаты предварительных оценок, этим условиям в наибольшей степени удовлетворяет экспоненциальная зависимость (формула 7).

$$M_{н.в.} = a \exp(-bT) \quad (7)$$

где коэффициент  $b$ , характеризует динамику риска.

На рисунке 4 представлены экспоненциальные зависимости интегрального риска травматизма и профзаболеваний для каждой шахты за 10-летний период. При общей тенденции уменьшения интегрального риска травматизма и профзаболеваний в течение рассматриваемого периода, темп его снижения для каждой шахты может существенно отличаться от темпа, характеризующего компанию в целом.

Ранжирование шахт по величине интегрального риска, осуществляется на основе расчета соотношения коэффициентов  $b$ , вы-

численных для каждой шахты «СУЭК-Кузбасс» и АО «СУЭК-Кузбасс» в целом (формула 8, таблица 1).

$$K = \frac{b_{\text{ком.}} - b_{\text{ш.}i}}{b_{\text{ш.}i}} \quad (8)$$

где  $b_{\text{ш.}i}$  - коэффициент, характеризующий динамику интегрального риска для каждой шахты АО «СУЭК-Кузбасс»,

$b_{\text{ком.}}$  - коэффициент динамики интегрального риска для АО «СУЭК-Кузбасс».

Таблица 1 – Параметры корреляционных зависимостей интегрального риска травматизма и профзаболеваний для шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Подразделение	Вид корреляционного уравнения	Корреляционное отношение	Параметр $b$ , характеризующий динамику $M_{\text{н.в.}}$	$K$
АО «СУЭК-Кузбасс»	$M_{\text{н.в.}} = 3,04e^{-0,141t}$	0,94	0,141	-
Шахта «Им. С.М. Кирова»	$M_{\text{н.в.}} = 2,37e^{-0,092t}$	0,80	0,092	0,53
Шахта «Комсомолец»	$M_{\text{н.в.}} = 1,63e^{-0,065t}$	0,90	0,065	1,17
Шахта «Полысаевская»	$M_{\text{н.в.}} = 3,25e^{-0,118t}$	0,89	0,118	0,19
Шахта «Им. А.Д. Рубана»	$M_{\text{н.в.}} = 2,33e^{-0,067t}$	0,82	0,067	1,10
Шахта «Галдинская-Западная-1»	$M_{\text{н.в.}} = 2,72e^{-0,096t}$	0,75	0,096	0,47
Шахта «Галдинская-Западная-2»	$M_{\text{н.в.}} = 3,44e^{-0,121t}$	0,75	0,121	0,17
Шахта «Им. В.Д. Ялевского»	$M_{\text{н.в.}} = 4,65e^{-0,1t}$	0,81	0,1	0,41

По величине рассчитанного показателя  $K$  представляется возможным сделать заключение об относительной динамике инте-

гального риска травматизма и профзаболеваний. Если значение показателя  $K$  меньше единицы, это свидетельствует о высоком темпе снижения интегрального риска травматизма и профзаболеваний. И, наоборот, при величине  $K$ , превышающего единицу, шахта должна быть отнесена к проблемной с точки зрения обеспечения безопасности труда, а реализация компенсационных мероприятий применительно к ней должна рассматриваться в качестве приоритета по сравнению с другими предприятиями компании (рисунок 5).

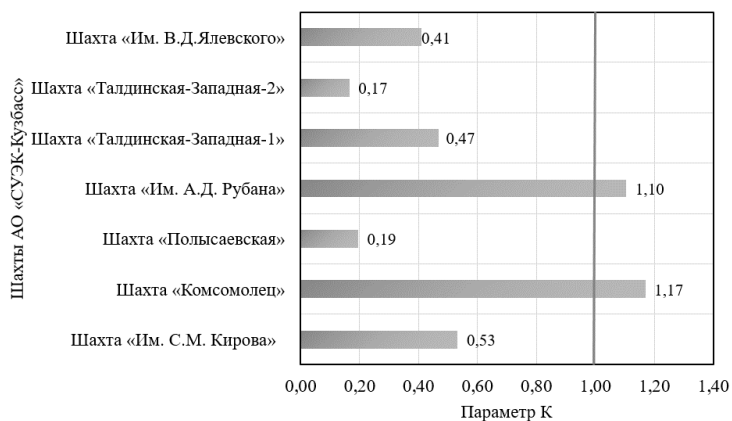


Рисунок 5 – Ранжирование шахт АО «СУЭК-Кузбасс» по величине динамики интегрального риска травматизма и профзаболеваний

Таким образом, согласно рисунку выше, можно выделить две шахты «Талдинская-Западная-2» и «Полысаевская», у которых показатель  $K$  является наименьшим, что говорит о интенсивном уменьшении интегрального риска по сравнению с интегральным риском в АО «СУЭК-Кузбасс». Также стоит отметить, что шахта «Комсомолец» и шахта «Им. А.Д. Рубана» имеют показатель  $K$  больше 1, что говорит о необходимости обратить особое внимание на улучшение комплексного показателя безопасности труда и соответственно разработать рекомендации по снижению уровней рисков в зависимости от причин их возникновения.

**3. Приоритетные направления снижения травматизма и профзаболеваний на угольных шахтах следует устанавливать на основании анализа тесноты корреляционных связей между рисками травматизма и профзаболеваний, при этом уменьшение**

**рисков производственного травматизма на работах, связанных с высокой тяжестью труда, может быть достигнуто за счет сокращения риска профессиональной заболеваемости в результате использования экзоскелетов.**

Воздействие на подземный персонал угольных шахт комплекса вредных факторов: запыленности воздушной среды, шумового и вибрационного воздействия, тяжести труда, ненормативных параметров микроклимата, приводят к развитию профессиональных заболеваний и ухудшению здоровья работников. Эти заболевания оказывают влияние на психофизиологические показатели горнорабочих, что снижает их возможности адекватного реагирования на возникающие в период производственной деятельности опасности, что может провоцировать несчастные случаи и связанный с ними травматизм. Для проверки данного допущения был осуществлен корреляционный анализ тесноты связи между рисками производственного травматизма и профзаболеваний различной этиологической природы (рисунок 6).

Выявлено, что теснота связи между производственным травматизмом и профессиональными заболеваниями зависит от их этиологической природы. При величине корреляционного отношения 0,56, характеризующего взаимосвязь между общими рисками травматизма и профзаболеваний, корреляционное отношение для риска травматизма и риска профзаболеваний от фактора физических нагрузок, определяющих тяжесть труда, составляет 0,91. При этом, корреляционная связь остальных видов профессиональных заболеваний с травматизмом более слабая (корреляционное отношение не более 0,56).

Между случайными величинами риска травматизма и профзаболеваний существует функциональная и вероятностная (стохастическая) взаимосвязи, то есть при изменении одной случайной величины другая случайная величина принимает соответствующее значение. Рассчитав ковариацию случайных величин между рисками травматизма и рисками профзаболеваний различной этиологической природы, можно также отметить наиболее тесную связь между риском травматизма и риском профзаболеваемости от фактора физических нагрузок ( $\text{cov}=0,38$ ).



Сформулированные выводы свидетельствуют о преобладающем влиянии на производственный травматизм тяжести труда, что дает возможность говорить о необходимости реализации адресных компенсационных мероприятий. Одним из таких мероприятий является промышленный экзоскелет, использование которого позволяет снизить нагрузку на опорно-двигательный аппарат человека, что приведет к уменьшению физических нагрузок и предотвращению травм.

Для определения эффективности использования экзоскелетов для уменьшения силовых нагрузок на опорно-двигательный аппарат был выбран пассивный промышленный экзоскелет X-Soft, снижающий, по данным изготовителя, нагрузку на позвоночник человека на 30%.

Для проведения экспериментальных исследований работоспособности промышленного экзоскелета было отобрано 18 мужчин с различными физиологическими данными. Перед началом исследования у всех испытуемых был измерен пульс в состоянии покоя, после чего осуществлялось поднятие груза с пола весом 40 кг в течение 1 минуты без экзоскелета и с использованием экзоскелета с последующим измерением частоты сердечных сокращений.

В зависимости от интервала изменения частоты сердечных сокращений физические нагрузки подразделялись на четыре категории: малые ( $75-100 \text{ с}^{-1}$ ), умеренные ( $101-120 \text{ с}^{-1}$ ), тяжелые ( $121-150 \text{ с}^{-1}$ ) и очень тяжелые (более  $150 \text{ с}^{-1}$ ). Результаты измерений частоты сердечных сокращений у 18 участников испытаний показали, что после выполнения физических нагрузок их величины без использования и с использованием экзоскелета в среднем составили  $128 \text{ с}^{-1}$  и  $117 \text{ с}^{-1}$ , что соответствует тяжелой и умеренной физической нагрузке.

Для оценки эффективности использования экзоскелета был рассчитан, так называемый, коэффициент устойчивости (КУ) вегетативной регуляции сердечного ритма по формуле 9.

$$КУ = \frac{ЧСС_1}{ЧСС_2} \quad (9)$$

где  $ЧСС_1$  – частота сердечных сокращений в покое,  $\text{с}^{-1}$

$ЧСС_2$  – частота сердечных сокращений после физических нагрузок,  $\text{с}^{-1}$ .

Вычисленные величины КУ участников испытаний при выполнении ими физических упражнений с использованием экзоскелета и без него представлены на рисунке 7, из которого следует, что использование экзоскелета способствует повышению коэффициента устойчивости вегетативной регуляции сердечного ритма человека.

Результаты проведенных измерений свидетельствуют, что использование экзоскелета привело к увеличению количества подъемов груза в среднем на 21% при одновременном снижении частоты сердечных сокращений после физической нагрузки на 10% по сравнению с выполнением упражнений без экзоскелета. Статистически значимые отличия показателей коэффициента устойчивости при выполнении работы с применением экзоскелета и без него по критерию Уилкоксона  $p$  составили 0,000196, что подтверждает достоверность выполненных исследований.

Таким образом, применение экзоскелета дает возможность уменьшить физиологическую цену деятельности человека примерно на 10%, что определяет аналогичное снижение тяжести труда горнорабочих и будет способствовать сокращению рисков профессиональных заболеваний и производственного травматизма.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертации обоснован комплексный показатель, объединяющий риски травматизма и профессиональных заболеваний, а также экономические ущербы, связанные с ними. На основе разработанного показателя представляется возможным осуществлять выбор управленческих решений по определению приоритетных направлений при планировании работ по охране труда для повышения безопасности труда компании. По результатам работы сделаны следующие выводы:

1. На основе анализа рисков производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в угледобывающих регионах России была выявлена общая тенденция снижения этих рисков за последние 10 лет, с наиболее высокими значениями в Кемеровской области.

2. Связь между рисками травматизма и профессиональной заболеваемостью в Кемеровской области характеризуется линейной зависимостью, имеющей коэффициент корреляции 0,91, то есть с

течением времени влияние профзаболеваний рабочих приводит к повышению риска производственного травматизма.

3. Совокупное воздействие вредных и опасных факторов на горнорабочих может быть учтено с помощью интегрального риска травматизма и профзаболеваний, в структуру которого входят риски производственного травматизма и профзаболеваний, а также фоновые риски рассматриваемого региона с учетом экономического ущерба от данных факторов.

4. Ранжирование угольных шахт по величине коэффициента, учитывающего сравнительную динамику интегрального риска травматизма и профзаболеваний, позволяет осуществлять выбор приоритетных направлений обеспечения безопасности труда в подразделениях компании.

5. В структуре интегрального риска травматизма и профзаболеваний основную долю занимают риски от производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, составляющие соответственно 46,6% и 21,2%.

6. При определении тесноты связи между рисками производственного травматизма и профзаболеваний различной этиологической природы при подземной добыче угля было выявлено, что преобладающее влияние на производственный травматизм оказывает тяжесть труда.

7. Уменьшение рисков производственного травматизма на работах, связанных с высокой тяжестью труда, может быть достигнуто за счет сокращения риска профессиональной заболеваемости в результате использования экзоскелетов.

Дальнейшее развитие темы диссертации предполагает использование предложенной методологии адресной поддержки предприятий, входящих в состав компании, для рабочих участков каждой из них и конкретных профессий.

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

*Публикации в изданиях из Перечня ВАК:*

1. 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.

2. Оценка перспектив использования промышленных экзоскелетов для снижения тяжести труда в угольной промышленности / С. Г. Гендлер, М. В. Туманов, **Е. А. Прохорова**, В. Г. Шехманов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 4. – С. 209-222.

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

3. Gendler, S. Risk-based methodology for determining priority directions for improving occupational safety in the mining industry of the arctic zone / S. Gendler, **E. Prokhorova** // Resources. – 2021. – Vol. 10, No. 3. – P. 1-14.

4. Обоснование технических решений по снижению производственного травматизма в лавах угольных шахт / С. Г. Гендлер, В. В. Габов, Н. В. Бабырь, **Е. А. Прохорова** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 1. – С. 5-19.

5. 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** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6-1. – С. 230-247.

6. Gendler, S. G. Assessment of the cumulative impact of occupational injuries and diseases on the state of labor protection in the coal industry / S. Gendler, **E. Prokhorova** // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2022. – № 10-2. – P. 105-116.

*Свидетельство:*

7. Программа для ЭВМ Программа для расчёта риска производственного травматизма / С. Г. Гендлер, А. С. Семенов, **Е. А. Прохорова**; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный университет. - № 2021612666; опубл. 20.02.2021. – 1 с.

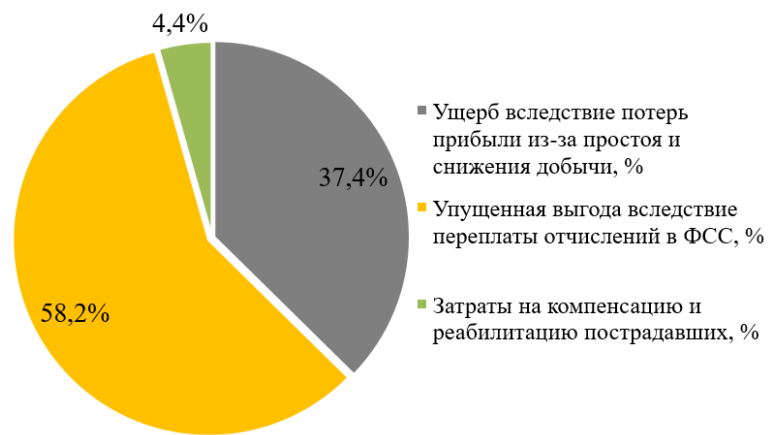


Рисунок 1 – Распределение составляющих экономического ущерба от производственного травматизма за 10-летний период работы в АО «СУЭК-Кузбасс»

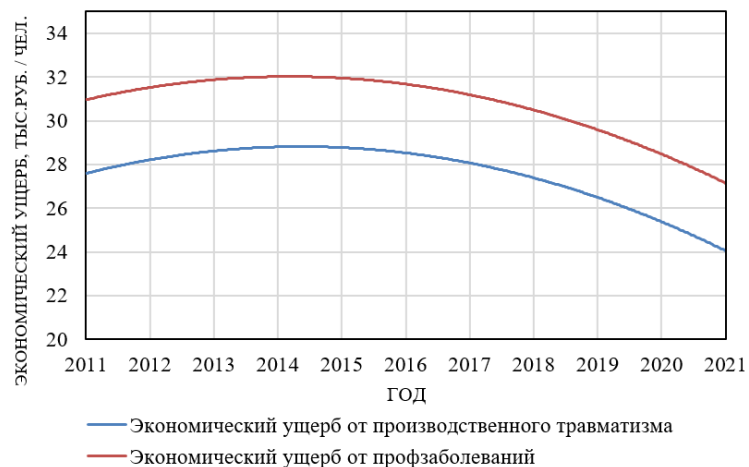


Рисунок 2 – Значения экономического ущерба от травматизма и профзаболеваний при подземной добыче угля в АО «СУЭК-Кузбасс», тыс. руб./чел.

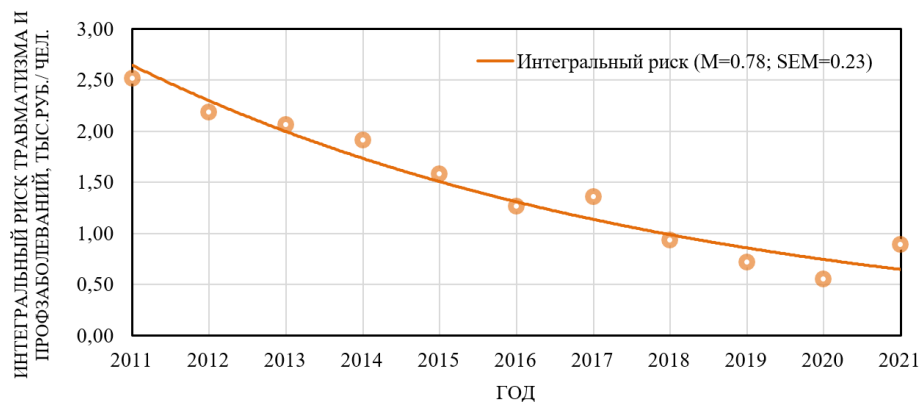


Рисунок 3 – Зависимость интегрального риска травматизма и профзаболеваний при подземной добыче угля в АО «СУЭК-Кузбасс»

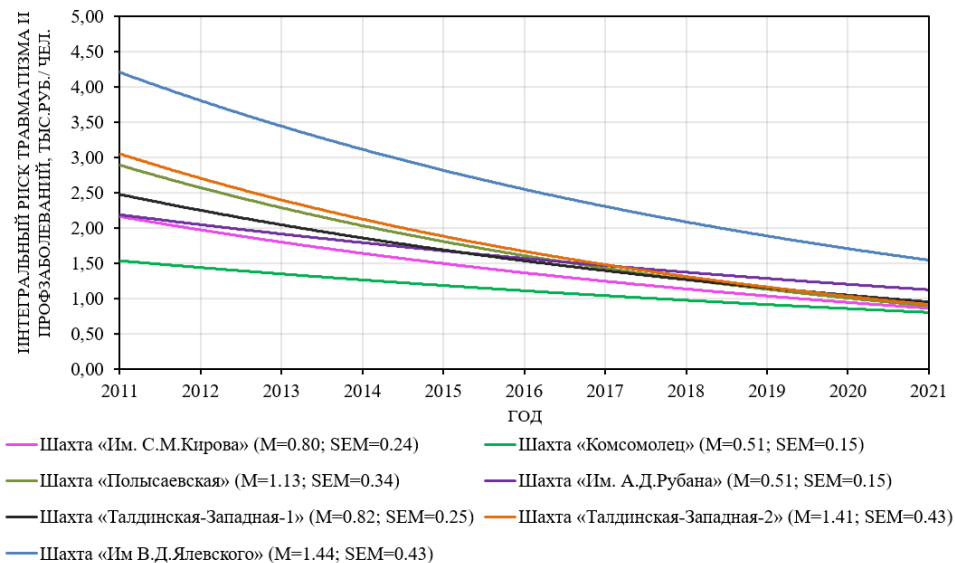


Рисунок 4 – Зависимость интегрального риска травматизма и профзаболеваний на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»

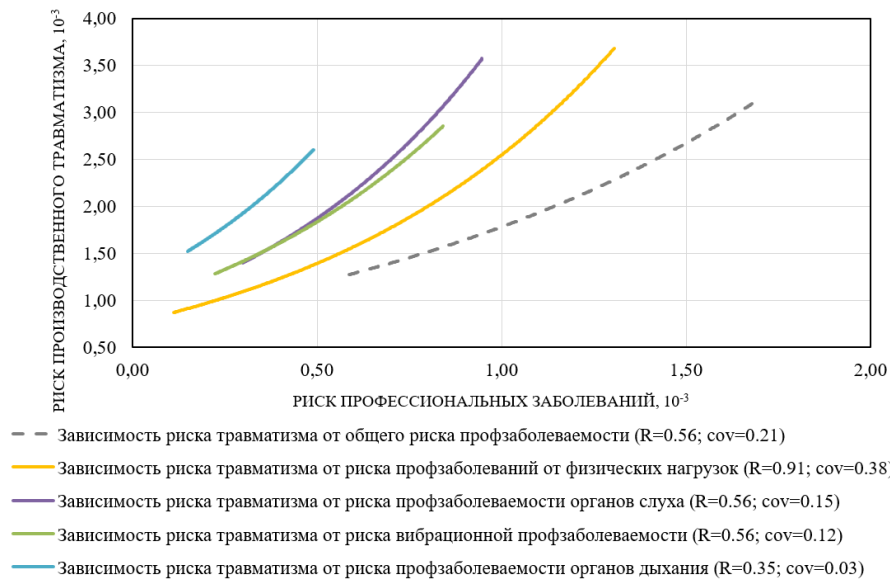


Рисунок 6 - Зависимость риска производственного травматизма от риска профессиональных заболеваний  
( $R$  – корреляционное отношение;  $cov$  – ковариация случайных величин)

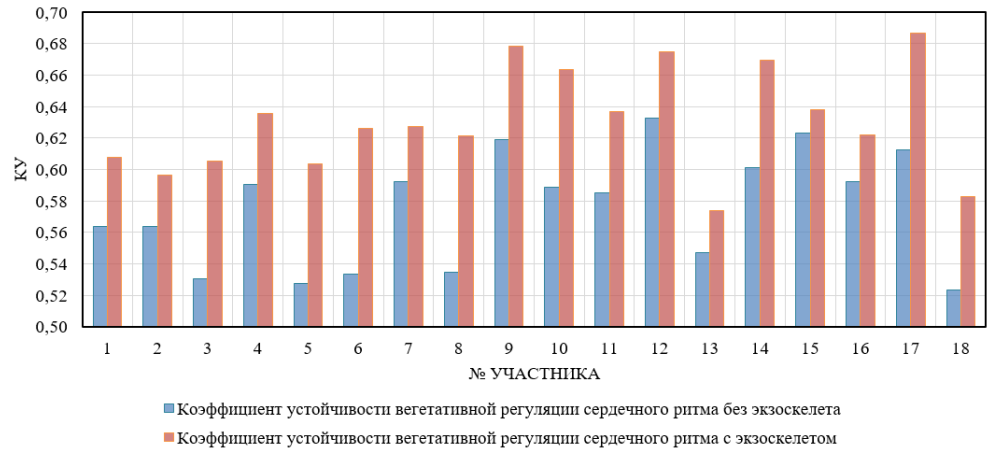


Рисунок 7 – Анализ коэффициентов устойчивости вегетативной регуляции сердечного ритма