

На правах рукописи

Кольвах Константин Андреевич



**ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ
РИСКОМ ТРАВМАТИЗМА ПОДЗЕМНОГО
ПЕРСОНАЛА УГОЛЬНЫХ ШАХТ ПРИ ОБРУШЕНИИ
ГОРНЫХ ПОРОД**

*Специальность 05.26.01 – Охрана труда (в горной
промышленности)*

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

Санкт-Петербург – 2021

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

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Рудаков Марат Леонидович

Официальные оппоненты:

Филин Александр Эдуардович,

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», кафедра техносферной безопасности, профессор;

Ефремов Сергей Владимирович,

кандидат технических наук, доцент, 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 им. Т.Ф. Горбачева» г. Кемерово.

Защита диссертации состоится 28 сентября 2021г. в 13 ч 30 мин на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.09 при Горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. №1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru

Автореферат разослан 28 июля 2021г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
Диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ
Евгений Ростиславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований и степень ее разработанности. Обрушения горных пород являются одним из основных опасных производственных факторов, приводящим к травматизму подземного персонала угольных шахт. При этом, за период с 2017 по 2020 года наметилась тенденция к росту числа случаев смертельного травматизма, обусловленных данным фактором.

Для решения задачи оценки и прогноза риска травматизма подземного персонала вследствие обрушения горных пород необходимо разработать метод, позволяющий проводить оценку риска с учетом данных, поступающих от многофункциональных систем безопасности (МФСБ), оснащение угольных шахт которыми в настоящее время регламентировано нормативными правовыми актами Российской Федерации, и в состав которых входят системы геомеханических наблюдений для контроля состояния массива горных пород.

При этом, вопрос оценки и управления риском легкого, тяжелого и смертельного травматизма подземного персонала угольных шахт непосредственно в результате обрушения горных пород на сегодняшний день не получил достаточного освещения в научной литературе.

Цель работы. Повышение безопасности труда при ведении подземных горных работ на угольных шахтах на основе оценки и управления риском травматизма подземного персонала при обрушении горных пород.

Идея работы. Оценка риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма, обусловленного обрушениями горных пород, осуществляется на основе показателя, определяющего устойчивость горного массива, значения которого поступают от многофункциональной системы безопасности.

Основные задачи исследований.

1. Анализ нормативно-методической базы в области оценки рисков, статистических данных и показателей индивидуального

риска травматизма подземного персонала угольных шахт вследствие обрушений.

2. Разработка математической модели для определения вероятности обрушений с учетом обработки данных о показателе, определяющем устойчивость горного массива, поступающих от многофункциональной системы безопасности угольной шахты.

3. Определение предельных величин вероятности обрушения горных пород, при превышении которых возникает опасность случаев легкого, тяжелого и смертельного травматизма.

4. Установление зависимости величины индивидуального риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма от вероятности обрушения горных пород.

Научная новизна:

1. Определены предельные значения вероятности обрушения горных пород при превышении которых возникает опасность производственного травматизма подземного персонала угольных шахт.

2. Установлены зависимости величин риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма подземного персонала угольных шахт от значений вероятности обрушения горных пород.

Основные защищаемые положения:

1. В структуре риска производственного травматизма от обрушений горных пород на угольных шахтах Кузбасса величины риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма составляют соответственно 53, 16 и 31 %, причем динамика риска легкого травматизма за период 2011-2020 гг. характеризуется линейной корреляцией с отрицательным коэффициентом регрессии, свидетельствующем о его снижении, а риски тяжелого и смертельного травматизма практически постоянны.

2. Вычисление вероятности обрушения горных пород следует проводить на основе критерия максимального правдоподобия с использованием показателя, поступающего от многофункциональных систем безопасности, который определяет устойчивость горного массива.

3. Предотвращение производственного травматизма,

обусловленного обрушениями горных пород, может быть реализовано за счет придания многофункциональным системам безопасности функции контроля вероятности обрушения, приводящего к возникновению легких, тяжелых и смертельных несчастных случаев.

Теоретическая и практическая значимость:

1. Установлены доли легкого, тяжелого и смертельного травматизма в структуре риска производственного травматизма от обрушений пород на угольных шахтах Кузбасса.

2. Разработан метод определения вероятности обрушений на основе критерия максимального правдоподобия с учетом информации, поступающей от МФСБ.

3. Установлены предельные величины вероятностей обрушения горных пород для легкого, тяжелого и смертельного травматизма, при превышении которых МФСБ, применяемая на угольной шахте, должна сигнализировать о возникновении опасной ситуации.

4. Установлены зависимости величины индивидуального риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма от вероятности обрушения горных пород.

Методология и методы исследований. Для решения поставленных задач использовались методы исследований, которые включали обработку статистических данных о травматизме персонала угольных шахт вследствие обрушений; анализ литературных источников, включающих описание методик оценки профессиональных рисков на угольных шахтах, а также применяемых на угольных шахтах многофункциональных систем безопасности; математический анализ, базирующийся на принципах теории вероятности, математической статистики и распознавания образов; патентный поиск; проведение экспериментальной апробации математической модели для различных состояний массива горных пород на угольной шахте.

Исследования проводились на базе лабораторий Научного центра «Геомеханики и проблем горного производства» федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Достоверность полученных результатов работы подтверждается обоснованным использованием методов математической статистики, теории вероятности и распознавания образов, применением лицензионного программного обеспечения для проведения расчетов, хорошей сходимостью результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных.

Апробация результатов диссертационной работы проведена на научно-практических мероприятиях с докладами:

- Международная научная конференция «Высокие технологии и инновации в науке» (г. Санкт-Петербург, 2018 г.);
- Международная научная конференция «Высокие технологии и инновации в науке» (г. Санкт-Петербург, 2019 г.);
- Международная научно-практическая конференция «World science: problems and innovations» (г. Пенза, 2018 г.);
- Научная конференция «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы (Санкт-Петербург, 2019);
- Международная научно-практическая конференция «Science. Research. Practice» (г. Санкт-Петербург, 2020 г.);
- XIX Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.).

Реализация результатов работы. Разработанная программа для ЭВМ «Программа для оценки индивидуального риска смертельного травматизма работников угольных шахт в результате обрушения горных пород» может быть использована в деятельности служб охраны труда на предприятиях, ведущих добычу угля подземным способом.

Результаты и выводы, содержащиеся в работе, могут использоваться в программах высшего профессионального и дополнительного профессионального образования, реализуемых Горным университетом.

Личный вклад автора состоит в участии при подготовке статей по теме исследований к публикации; сформулированы цель,

идея и задачи исследований; проведен анализ отечественных и зарубежных литературных источников; разработана математическая модель по оценке вероятности обрушения горных пород и определению допустимых значений вероятности обрушения для риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма; получены экспериментальные данные, а также проведена апробация математической модели для различных состояний горного массива.

Публикации. Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 11 печатных трудах, в том числе в 3-х 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-х статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация включает оглавление, введение, четыре главы с выводами, заключение, библиографический список, содержащий 112 литературных источников, 2 приложения. Представлена на 117 страницах машинописного текста и содержит 36 рисунков и 9 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлены основные цели, идеи и задачи диссертационной работы; обозначена актуальность темы исследования; сформулированы теоретическая и практическая значимость работы, а также ее научная новизна.

В первой главе рассмотрено состояние угледобывающей отрасли; проведена оценка условий труда; выполнен обзор существующих методов оценки риска травматизма персонала на угольных шахтах; рассмотрены обрушения горных пород как травмирующий фактор; проведен анализ статистических данных по травматизму; проведен анализ причин обрушений горных пород, а также мероприятий, направленных на их предотвращение.

Во второй главе диссертации рассмотрен риск легкого, тяжелого и смертельного травматизма подземного персонала угольных шахт при обрушении горных пород, определена структура риска, его динамика.

Третья глава диссертации включает математическую модель, на основе которой производится вычисление вероятности обрушений с учетом результатов измерений, проводимых многофункциональной системой безопасности, применяемой на угольной шахте; проведена апробация данной модели для различных состояний горного массива и различных МФСБ, применяемых на угольных шахтах Кузбасса; установлены зависимости в рамках апробации модели.

В четвертой главе диссертации представлен расчет предельных значений вероятности обрушений горных пород, при превышении которых возникает риск легкого, тяжелого либо смертельного травматизма подземного персонала угольных шахт; разработаны рекомендации для служб охраны труда, направленные на управление профессиональными рисками при обрушении горных пород.

В заключении проведено обобщение результатов выполненных исследований в рамках поставленных задач.

Результаты диссертации представлены в следующих защищаемых положениях:

1. В структуре риска производственного травматизма от обрушений горных пород на угольных шахтах Кузбасса величины риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма составляют соответственно 53, 16 и 31 %, причем динамика риска легкого травматизма за период 2011-2020 гг. характеризуется линейной корреляцией с отрицательным коэффициентом регрессии, свидетельствующем о его снижении, а риски тяжелого и смертельного травматизма практически постоянны.

В соответствии с данными Ростехнадзора, обрушения горных пород стали причиной гибели 117 работников угольных шахт за период с 2006 по 2020 года (рисунок 1).

Данный фактор является причиной 19% случаев смертельного травматизма подземного персонала угольных шахт. Обрушения горных пород являются второй по распространенности причиной смертельных несчастных случаев по травмирующим факторам (рисунок 2).

Обрушения горных пород являются наиболее распространенной причиной травматизма подземного персонала угольных шахт Кузбасса. На их долю приходится 22,3% несчастных случаев (рисунок 3).

С 2011 по 2020 год на предприятиях Кузбасса, ведущих добычу угля подземным способом, произошло 97 несчастных случаев, обусловленных обрушениями горных пород. При этом преобладали случаи легкого травматизма (53% от общего числа несчастных случаев). Случаев тяжелого и смертельного травматизма насчитывалось соответственно 16 и 31% (рисунок 4).

Распределение несчастных случаев по степени тяжести за период 2011-2020 гг. представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Число случаев легкого, тяжелого и смертельного травматизма на угольных шахтах Кузбасса вследствие обрушения горных пород за период 2011-2020 гг.

Год	Легкий	Тяжелый	Смертельный
2011	5	2	4
2012	11	3	3
2013	5	1	6
2014	12	4	1
2015	5	2	2
2016	4	2	5
2017	3	0	1
2018	2	1	1
2019	2	1	5
2020	2	0	2

Среднее значение наблюдаемого индивидуального риска смертельного травматизма, обусловленного обрушениями горных пород, в целом по виду экономической деятельности «Добыча угля:

подземным способом» для угольных шахт Кузбасса за период с 2011 по 2020 года составило $5 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹. Индивидуальный риск легкого и тяжелого травматизма составили соответственно $8 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹ и $3 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹.

При этом на некоторых угольных шахтах данная величина достигала существенно больших значений. Так, на шахте Талдинская-Западная-1 в 2014 году среднее значение данной величины составляло $1,6 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹, а на шахте Комсомолец в 2017 году $1,5 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹.

Индивидуальный риск легкого травматизма в 2014 году на шахте им. А.Д. Рубана составлял $3,9 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹, а на шахте им. В.Д. Ялевского в 2015 году $3,5 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹.

Индивидуальный риск тяжелого травматизма достигал значения $1 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹ в 2013 году на шахте Им. А.Д. Рубана и $2,1 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹ на шахте Талдинская-Западная-2.

Величины риска общего, легкого, тяжелого и смертельного травматизма в зависимости от года в целом по Кузбассу представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения индивидуального риска травматизма подземного персонала угольных шахт Кузбасса по степени тяжести за период 2011-2020 гг., год⁻¹

Год	Общий	Легкий	Тяжелый	Смертельный
2011	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$
2012	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
2013	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
2014	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$
2015	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$
2016	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
2017	$9 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	0	$2 \cdot 10^{-4}$
2018	$8 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
2019	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
2020	$8 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	0	$4 \cdot 10^{-4}$

Динамика риска общего, а также легкого, тяжелого и смертельного травматизма представлена на рисунках 5-6.

Существенное снижение риска легкого травматизма обусловлено совершенствованием организационно-технических мероприятий, проводимых на угольных шахтах. Вместе с тем, риск тяжелого и смертельного травматизма остается практически неизменным, что в значительной степени обусловлено крупными авариями с групповыми несчастными случаями в результате недостаточного оперативного контроля состояния массива горных пород. Вследствие этого важнейшей задачей является разработка метода, позволяющего оценивать величину риска в режиме реального времени на основе информации, поступающей от МФСБ.

При этом установлено, что наиболее часто случаи травматизма подземного персонала угольных шахт в результате обрушений происходят в лавах. За период с 2011 по 2020 гг. в лавах угольных шахт Кузбасса произошло 52 несчастных случая вследствие обрушения горных пород. Число несчастных случаев в соответствии с типом горных выработок за рассматриваемый период представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Число несчастных случаев в соответствии с типом горных выработок за период 2011-2020 гг. на угольных шахтах Кузбасса

Год	Лава	Конвейерный участковый штрек	Вентиляционный участковый штрек
2011	6	2	3
2012	8	4	5
2013	6	3	3
2014	9	2	6
2015	6	3	0
2016	5	3	3
2017	3	0	1
2018	2	2	0
2019	4	1	3
2020	3	1	0

На основе проведенного анализа установлено, что особое

внимание при разработке мероприятий, направленных на предотвращение несчастных случаев при обрушении горных пород, необходимо уделять лавам. На рисунке 7 представлена динамика несчастных случаев различной степени тяжести, произошедших в лавах угольных шахт Кузбасса за период 2011-2020 гг.

2. Вычисление вероятности обрушения горных пород следует проводить на основе критерия максимального правдоподобия с использованием показателя, поступающего от многофункциональных систем безопасности, который определяет устойчивость горного массива.

С целью определения величины риска травматизма подземного персонала угольных шахт необходимо на первом этапе определить вероятность обрушений. Вероятность обрушения определяется с учетом информации, поступающей от систем контроля состояния горного массива, применяемых в рамках МФСБ. В расчетах используется показатель, определяющий устойчивость горного массива, значения которого поступают от системы.

В отечественной практике для контроля геомеханического состояния горного массива используются несколько типов МФСБ: САКСМ, система геомеханических и геофизических наблюдений типа «Микон-ГЕО», система Granch и др.

Каждая система характеризуется наличием некоторого показателя N , характеризующего устойчивость горного массива. Данный показатель определяется на основе интегрирования параметров, характеризующих состояние горного массива. Так, результатом измерений системы «Микон-ГЕО» является интегрированный критерий, включающий величины сейсмической энергии и градиента горного давления.

Для вычисления вероятности обрушения предлагается результаты измерений интегрировать в математическую модель, которая основана на критерии максимального правдоподобия.

Реализация математической модели осуществляется на основе следующих показателей: отношение правдоподобия L значений показателя N , определяющего устойчивость массива, число значений данного показателя ниже порогового за период

измерения $N_{\text{НП}}$, число значений показателя, определяющего устойчивость массива, выше порогового за период измерения $N_{\text{ВП}}$, плотность распределения значений данного показателя для вероятности того, что произойдет обрушение горных пород $f^{\text{обр}}$, общее количество значений данного показателя за весь период измерений Q , вероятность обрушения $R_{\text{обр}}$.

Математическая модель определения вероятности обрушения горных пород на основе критерия максимального правдоподобия принимает вид формулы (1):

$$R = \begin{cases} R_{\text{необр}}, & \text{если } L \geq 1 \\ R_{\text{обр}}, & \text{если } L < 1 \end{cases} \quad (1)$$

В данной математической модели определяется отношение правдоподобия (L) как отношение числа значений показателя, определяющего устойчивость массива, выше порогового за период измерения ($N_{\text{ВП}}$) к числу значений данного показателя ниже порогового за период измерения ($N_{\text{НП}}$) по формуле (2):

$$L = \frac{N_{\text{ВП}}}{N_{\text{НП}}} \quad (2)$$

Далее производится вычисление плотности распределения значений показателя, определяющего устойчивость массива, для вероятности обрушения горных пород ($f^{\text{обр}}$) как отношение числа значений данного показателя ниже порогового значения за период измерения ($N_{\text{НП}}$) к количеству его значений за весь период измерений (Q) по формуле (3):

$$f^{\text{обр}} = \frac{N_{\text{НП}}}{Q} \quad (3)$$

Вероятность обрушения горных пород ($R_{\text{обр}}$) вычисляется как произведение отношения правдоподобия (L) и плотности распределения ($f^{\text{обр}}$) значений данного показателя за период измерений по формуле (4):

$$R_{\text{обр}} = L \cdot f^{\text{обр}} \quad (4)$$

Получаемые значения вероятности обрушений предлагается соотносить с предельными значениями, определяемыми в соответствии со степенью тяжести риска на основе теоремы Байеса.

3. Предотвращение производственного

травматизма, обусловленного обрушениями горных пород, может быть реализовано за счет предания многофункциональным системам безопасности функции контроля вероятности обрушения, приводящего к возникновению легких, тяжелых и смертельных несчастных случаев.

Относительная простота вычислений, а также возможность компьютерной реализации делает использование теоремы Байеса актуальным направлением в вопросе оценки допустимых значений вероятности обрушения горных пород.

В общем виде формула Байеса имеет вид формулы (5):

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)} \quad (5)$$

где $P(A)$ – вероятность события A ;

$P(A|B)$ – вероятность гипотезы A при наступлении события B ;

$P(B|A)$ – вероятность наступления события B при истинности гипотезы A ;

$P(B)$ – вероятность события B .

В данном исследовании в качестве события A принимается несчастный случай различной степени тяжести на угольной шахте. В качестве события B – обрушение горных пород. Соответственно, $P(A)$ – вероятность несчастного случая. $P(B)$ – вероятность обрушения горных пород. $P(B|A)$ представляет собой апостериорную вероятность – событие B (обрушение горных пород) при условии, что событие A (легкий, тяжелый либо смертельный несчастный случай) уже произошло. Величина $P(A|B)$ – вероятность события A (несчастного случая) при условии, что событие B (обрушение горных пород) произошло.

Вводятся следующие обозначения:

$P(A)$ обозначим как R_i , или как среднее значение величины приемлемого риска в профессиональной сфере;

$P(A|B)$ – A , или отношение числа случаев травматизма в результате обрушений к среднесписочному числу подземного персонала;

$P(B)$ - $R_{обр}$, или предельная вероятность обрушения горных пород, при превышении которой возникает риск легкого, тяжелого либо смертельного травматизма;

$P(B|A)$ - B , или отношение случаев легкого, тяжелого либо смертельного травматизма вследствие воздействия данного фактора к общему числу случаев травматизма.

Следовательно, в целях определения предельных значений вероятности обрушения горных пород формула Байеса будет иметь вид формулы (6):

$$R_{обр} = \frac{B \cdot R_i}{A} \quad (6)$$

При определении предельного значения вероятности обрушения, при превышении которой возникает риск легкого, тяжелого либо смертельного травматизма подземного персонала, в качестве значения индивидуального риска R_i следует брать величину $2,5 \cdot 10^{-4}$ – среднюю величину приемлемого риска в профессиональной сфере.

При этом применительно к определению вероятности легкого, тяжелого либо смертельного травматизма определялись соответствующие значения показателей A и B . В расчетах учитывались статистические данные для несчастных случаев конкретной степени тяжести.

В рамках апробации данной модели установлены предельные значения вероятности обрушения, при превышении которых риски легкого, тяжелого и смертельного травматизма превышают допустимые значения на угольных шахтах Кузбасса (таблица 4).

Таблица 4 – Предельные значения вероятности обрушения для рисков различной степени тяжести на угольных шахтах Кузнецкого угольного бассейна

Несчастный случай	Вероятность обрушения, %
Легкий	5
Тяжелый	11
Смертельный	13

В случае, когда в рамках математической модели на основе критерия максимального правдоподобия с учетом информации, поступающей от МФСБ, определяются превышения предельных величин, представленных в таблице 4, система должна выработать предупредительный сигнал в целях оповещения о необходимости принятия организационных и технических решений, направленных на предотвращение несчастных случаев, обусловленных обрушениями горных пород на угольных шахтах.

Также, на основе теоремы Байеса установлена зависимость величин индивидуального риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма от вероятности обрушения горных пород для угольных шахт Кузбасса (рисунок 8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, решающую актуальную задачу повышения уровня безопасности труда на угольных шахтах. В рамках исследования проведена оценка вероятности обрушения горных пород; определены предельные значения вероятности обрушения горных пород, при превышении которых возникает опасность легкого, тяжелого и смертельного травматизма подземного персонала угольных шахт; установлены зависимости величины индивидуального риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма от вероятности обрушения горных пород.

Основные научные результаты отражены в следующих выводах:

1. На основе проведенного анализа статистических данных установлено, что в структуре рисков производственного травматизма, обусловленного обрушениями горных пород на Кузбассе, риски легкого, тяжелого и смертельного травматизма составляют соответственно 53, 16 и 31 %.

2. Установлено, что риск легкого травматизма характеризуется линейной корреляцией с отрицательным коэффициентом регрессии, что свидетельствует о его снижении, при

том, что риски тяжелого и смертельного травматизма практически постоянны.

3. Рекомендовано проводить определение вероятности обрушения горных пород на основе критерия максимального правдоподобия с учетом информации, поступающей от МФСБ.

4. Установлены предельные значения вероятности обрушений для риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма для угольных шахт Кузбасса, которые составляют, соответственно, 5, 11 и 13% и при превышении которых МФСБ должны предупреждать о возникновении опасной ситуации.

5. В рамках апробации разработанной математической модели установлена зависимость величины индивидуального риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма от вероятности обрушения горных пород для угольных шахт Кузбасса.

6. Результаты исследования и разработанная программа для ЭВМ могут быть использованы в работе служб охраны труда предприятий, ведущих подземные горные работы по добыче угля.

7. Научные положения диссертации и технические разработки обеспечивают дальнейшее развитие теории и технологии защиты подземного персонала угольных шахт от обрушений горных пород. Исследование может получить продолжение при совершенствовании существующих и разработке новых способов мониторинга состояния горного массива.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из перечня ВАК:

1. Рудаков, М.Л. О возможности использования критерия максимального правдоподобия в целях оценки профессионального риска, обусловленного обрушениями горных пород при подземной добыче угля / М.Л. Рудаков, К.А. Кольвах // Безопасность жизнедеятельности, 2019. - № 8. – С. 10-13.

2. Кольвах, К.А. Применение теоремы Байеса для оценки величины индивидуального риска, обусловленного обрушениями горных пород, на угольных шахтах // Вестник

научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, 2020. - № 1. – С. 77-80.

3. Кольвах, К.А. Оценка величины индивидуального риска и риска группового несчастного случая работников угольных шахт при обрушении горных пород // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, 2021. - № 2. – С. 70-74.

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

4. Rudakov, M.L. Occupational safety and health in the sector of coal mining / M.L. Rudakov, O.I. Kazanin, K.A. Kolvakh // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 2018. - № 6. – PP. 1333-1339. – ISSN Online: 0976-6316.

Рудаков, М.Л. Профессиональная безопасность и здоровье в угольной промышленности / М.Л. Рудаков, О.И. Казанин, К.А. Кольвах // Международный журнал гражданского строительства и технологии, 2018. - № 6. – С. 1333-1339. - ISSN Online: 0976-6316.

5. Rudakov, M.L. Assessment of environmental and occupational safety in mining industry during underground coal mining / M.L. Rudakov, Y.V. Derkach, K.A. Kolvakh // Journal of Environmental Management and Tourism, 2020. - № 3. - PP. 579-588. - DOI: 10.14505/11.3(43).10

Рудаков, М.Л. Оценка экологической и производственной безопасности в горнодобывающей промышленности при подземной добыче угля / М.Л. Рудаков, Я.В. Деркач, К.А. Кольвах // Журнал экологического менеджмента и туризма, 2020. - № 3. – С. 579-588. - DOI: 10.14505/11.3(43).10

6. Rudakov, M.L. Assessment of the individual risk of fatal injury to coal mine workers during collapses / M.L. Rudakov, E.N. Rabota, K.A. Kolvakh // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2020. - № 4. – PP. 88-93. – DOI: 10.33271/2020-4/088

Рудаков, М.Л. Оценка индивидуального риска смертельного травмирования работников угольных шахт при обрушениях горных пород / М.Л. Рудаков, Э.Н. Работы, К.А. Кольвах // Научный вестник Национального Горного университета, 2020. - № 4. С. 88-93. - DOI:

Публикации в прочих изданиях:

7. Кольвах, К.А. Оценка индивидуального риска смертельного травмирования работников угольных шахт на основе теоремы Байеса // Science.Research.Practice.: сборник работ Международной научно-практической конференции, (г. Пенза, 2018 г.). – г. Пенза, 2018. С. 83-85.

8. Кольвах, К.А. Применение риск-ориентированного подхода для повышения уровня охраны труда на угольных шахтах // World science: problems and innovations: сборник работ Международной научно-практической конференции, (г. Пенза, 2018 г.). – г. Пенза, 2018. С. 74-76.

9. Рудаков, М.Л. Использование критерия максимального правдоподобия для оценки профессионального риска, обусловленного обрушениями горных пород на угольных шахтах / М.Л. Рудаков, К.А. Кольвах // Высокие технологии и инновации в науке 2019: сборник работ Международной научной конференции, (г. Санкт-Петербург, 2019 г.). – г. Санкт-Петербург, 2019. С. 63-66.

10. Рудаков, М.Л. Оценка профессионального риска, обусловленного обрушениями горных пород на угольных шахтах России / М.Л. Рудаков, К.А. Кольвах // Наука и образования: сохраняя прошлое создаем будущее: сборник работ Международной научно-практической конференции, (г. Пенза, 2019 г.). – г. Пенза, 2019. С. 47-50.

11. Рудаков, М.Л. О совершенствовании процедуры оценки профессиональных рисков, обусловленных обрушениями горных пород на угольных шахтах / М.Л. Рудаков, К.А. Кольвах // Высокие технологии и инновации в науке 2018: сборник работ Международной научной конференции, (г. Санкт-Петербург, 2018 г.). – г. Санкт-Петербург, 2018. С. 41-45.

Свидетельство:

12. Программа для ЭВМ Программа для оценки индивидуального риска смертельного травмирования работников угольных шахт в результате обрушения горных пород / М.Л.

Рудаков, К.А. Кольвах; заявитель и правообладатель Санкт-Петербургский горный университет. - № 2020665859; заявл. 10.11.2020; опубл. 01.01.2020, Бюл. № 12. - 2 с.

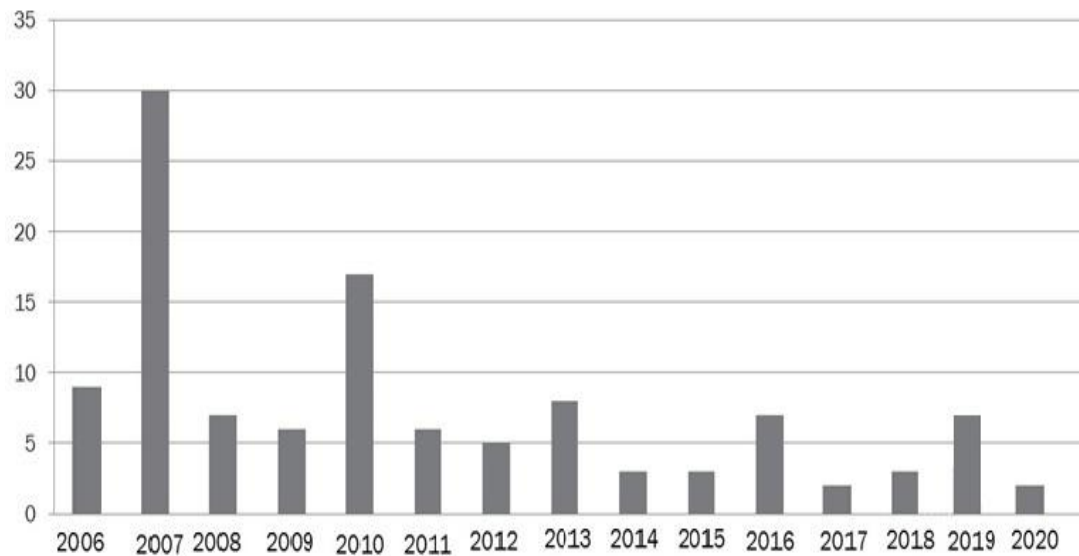


Рисунок 1 – Динамика смертельных несчастных случаев на угольных шахтах России за период 2006-2020 гг.

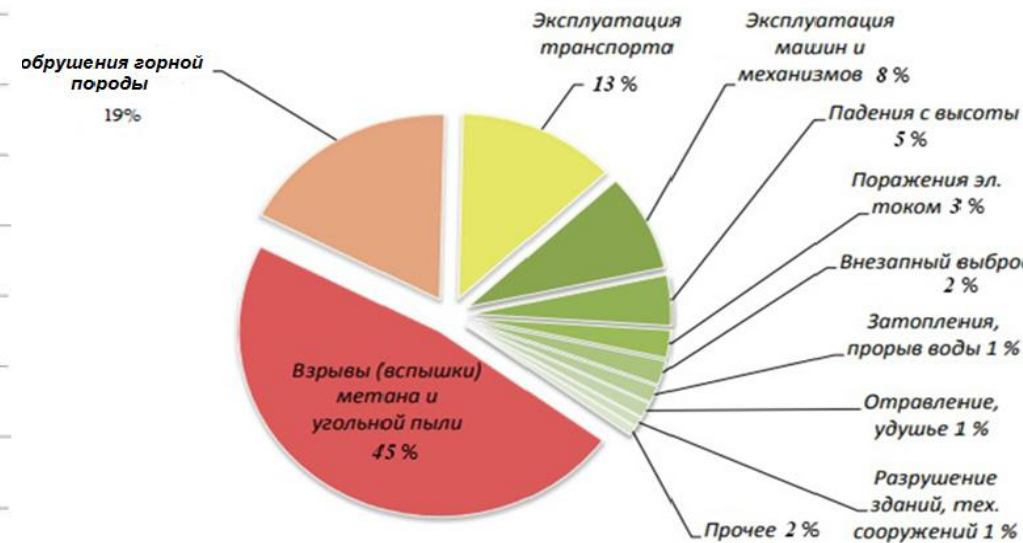


Рисунок 2 – Основные травмирующие факторы на угольных шахтах страны за период 2006-2020 гг.



Рисунок 3- Основные причины травматизма на угольных шахтах Кузбасса за период 2011-2020 гг.



Рисунок 4 – Распределение несчастных случаев, обусловленных обрушениями горных пород на угольных шахтах Кузбасса за период 2011-2020 гг.

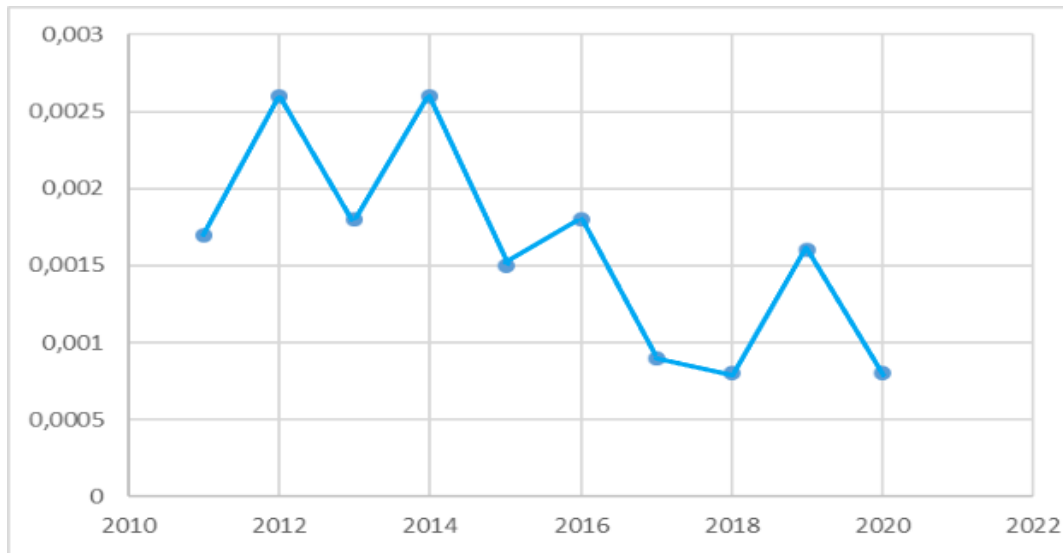


Рисунок 5 – Динамика риска общего травматизма, обусловленного обрушениями горных пород на угольных шахтах Кузбасса за период 2011-2020 гг.

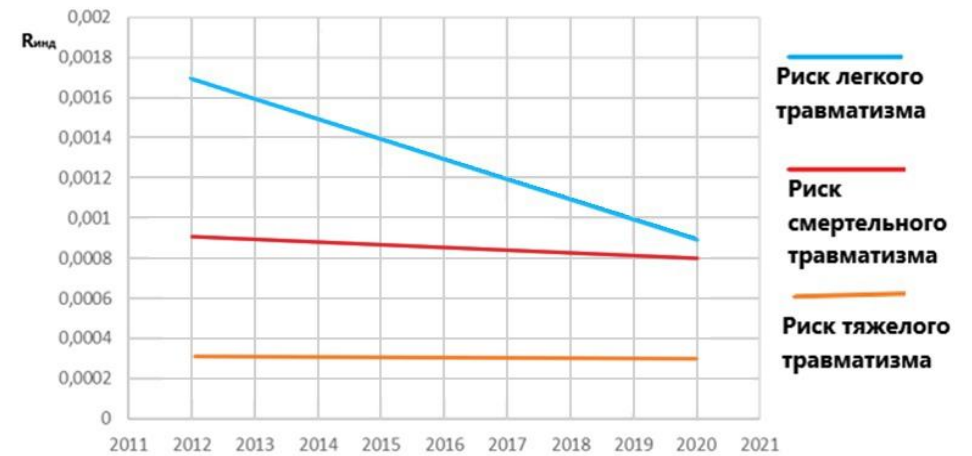


Рисунок 6 – Динамика риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма, обусловленного обрушениями горных пород на угольных шахтах Кузбасса за период 2006-2020 гг.

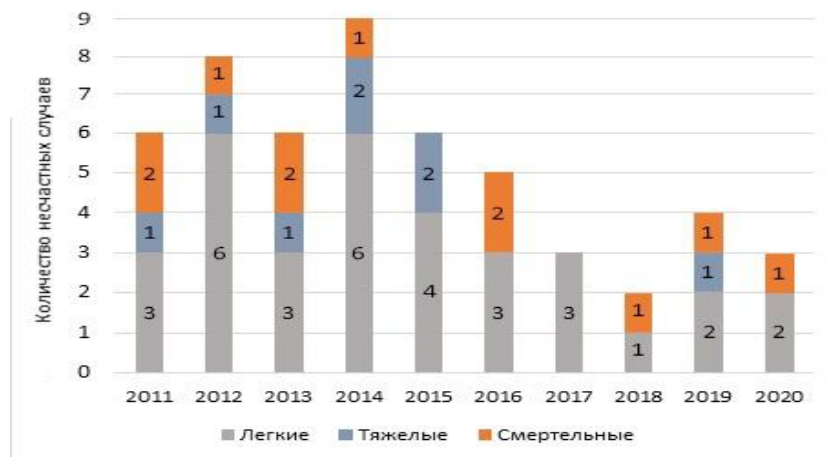


Рисунок 7 – Несчастные случаи в лавах угольных шахт Кузбасса, обусловленные обрушениями горных пород за период 2011-2020 гг.

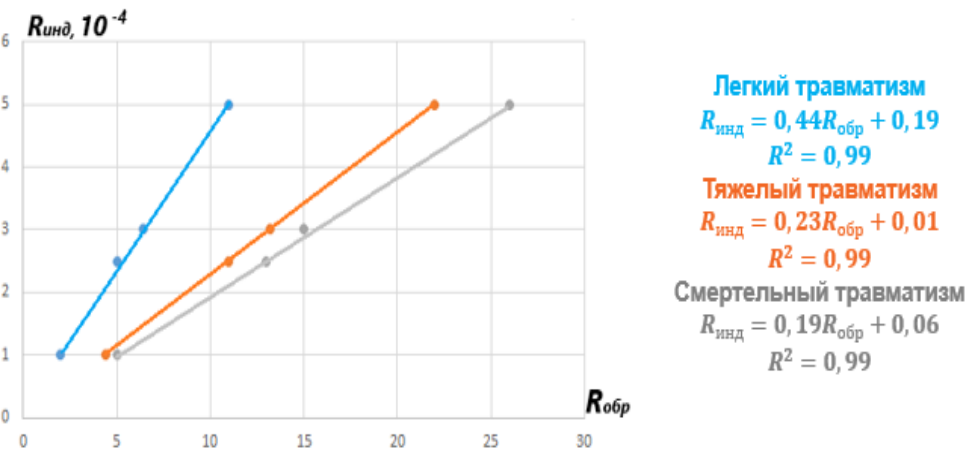


Рисунок 8 – Зависимость величины индивидуального риска от вероятности обрушения горных пород на угольных шахтах Кузбасса за период 2011-2020 гг.