

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

*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)

Диссертация на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Рудаков М.Л.

Санкт-Петербург – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1 ПРОВЕДЕНИЕ ОЦЕНКИ РИСКОВ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА.....</b>	<b>9</b>
1.1 Современное состояние и перспективы развития угледобывающей отрасли России .....	9
1.2 Оценка условий труда на угольных шахтах России.....	17
1.3 Понятие индивидуального риска и концепция риск-ориентированного подхода .....	20
1.4 Анализ методов оценки профессиональных рисков .....	25
1.5 Обрушения горных пород как травмирующий фактор на угольных шахтах России .....	28
1.6 Выводы по главе 1 .....	32
<b>ГЛАВА 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ РИСКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА, ОБУСЛОВЛЕННОГО ОБРУШЕНИЯМИ ГОРНЫХ ПОРОД НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КУЗБАССА .....</b>	<b>34</b>
2.1 Определение структуры и динамики травматизма вследствие обрушения горных пород на угольных шахтах Кузбасса .....	34
2.2 Определение величины и динамики риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма, обусловленного обрушениями горных пород, на угольных шахтах Кузбасса.....	40
2.3 Выводы главе 2.....	44
<b>ГЛАВА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ОБРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ, ПОСТУПАЮЩИХ ОТ МФСБ .....</b>	<b>46</b>
3.1 Применение многофункциональных систем безопасности на угольных шахтах.....	46
3.2 Определение вероятности обрушения горных пород .....	56
3.3 Апробация математической модели определения вероятности обрушения горных пород на основе критерия максимального правдоподобия .....	59
3.4 Выводы по главе 3.....	62
<b>ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ РИСКОМ ТРАВМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПЕРСОНАЛА УГОЛЬНЫХ ШАХТ ПРИ ОБРУШЕНИЯХ .....</b>	<b>64</b>

4.1 Применение теоремы Байеса с целью определения предельных величин вероятности обрушения горных пород .....	64
4.2 Виды мероприятий, направленных на предотвращения травматизма подземного персонала угольных шахт в результате обрушений горных пород .	68
4.3 Использование разработанной программы для ЭВМ в целях повышения безопасности труда подземного персонала угольных шахт при обрушении горных пород .....	76
4.4 Выводы по главе 4.....	76
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>78</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>80</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А_ГОСТ Р 55154-2019 «Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт» .....</b>	<b>94</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б_Программа для ЭВМ «Программа для оценки индивидуального риска смертельного травмирования работников угольных шахт в результате обрушения горных пород» .....</b>	<b>110</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **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, свидетельствующим 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 обрушения горных пород 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 диссертационной работы в достаточной степени освещены в 11 печатных работах, 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.



# **ГЛАВА 1 ПРОВЕДЕНИЕ ОЦЕНКИ РИСКОВ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА**

## **1.1 Современное состояние и перспективы развития угледобывающей отрасли России**

Одно из ведущих мест в энергетическом комплексе Российской Федерации занимает угольная промышленность. Данная отрасль является системообразующей в российской экономике. Следовательно, угольная отрасль рассматривается как один из основных источников энергоносителей в долгосрочной перспективе [15].

Добыча угля производится на территории шести федеральных округов, включающих 22 угольных бассейна и 129 отдельных месторождения. Добыча осуществляется на 66 шахтах и 115 разрезах. Потребление добытого угля происходит во всех субъектах федерации [15].

Основными центрами угледобычи в азиатской части страны являются Кузнецкий и Канско-Ачинский угольные бассейны, а также месторождения, расположенные в Восточной части Сибири. В европейской части России центрами угледобычи являются Восточный Донбасс и Печорский угольный бассейн (рисунок 1.1) [15].

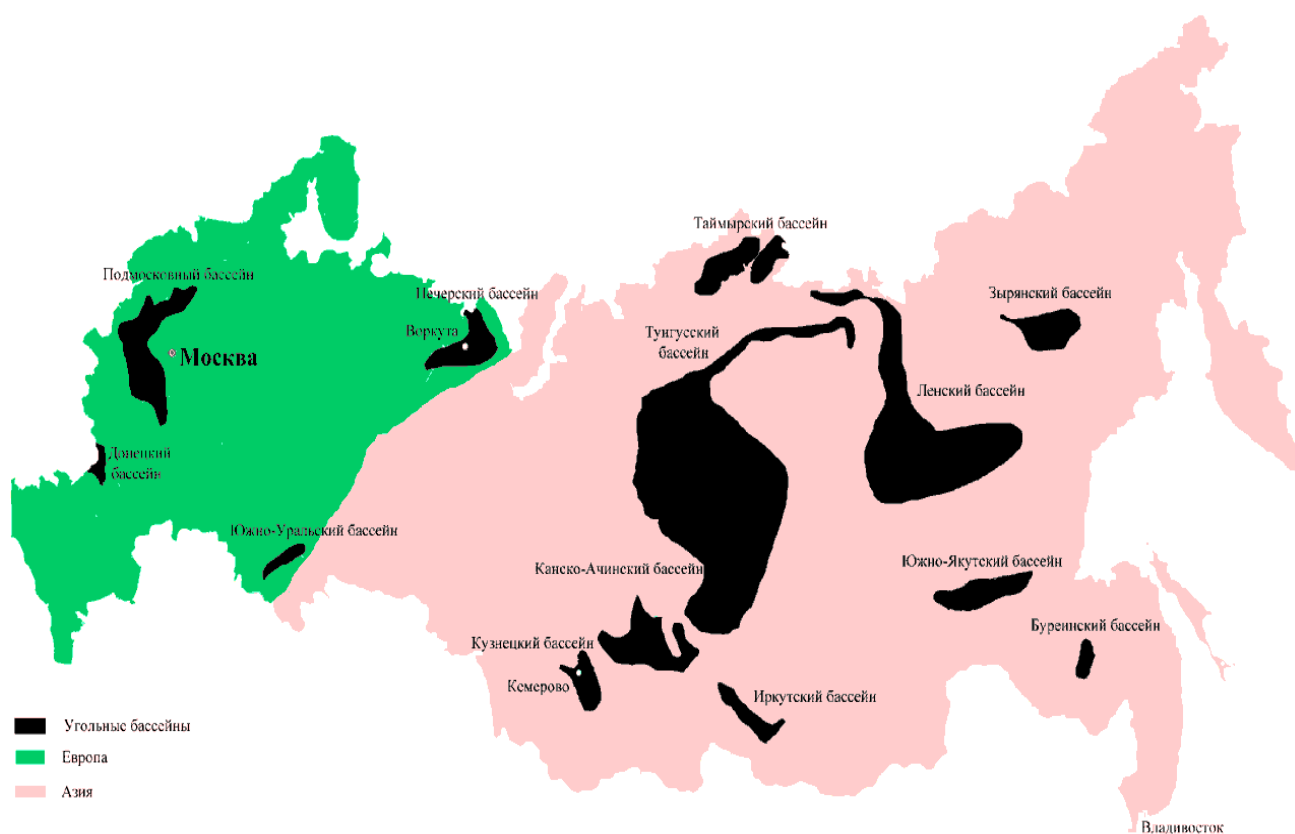


Рисунок 1.1 – Расположение угольных бассейнов на карте РФ [15]

Горно-геологические условия на угольных бассейнах страны существенно отличаются. Как следствие, отличаются и способы, а также системы разработки угольных месторождений [66].

На 2020 год объем добываемого угля составил 120 млн. тонн (рисунок 1.2) [15, 28].



Рисунок 1.2 – Объем добываемого угля в России [15]

Запасы угля включают все геологические типы и стадии метаморфизма: от гумусовых до богхедов и от различных липтобиолитов и мягких бурых углей до антрацитов [28].

По объемам добычи угля Россия входит в пятерку крупнейших стран в мире наряду с Китаем, США, Индией и Австралией. По разведанным запасам угля Россия уступает лишь США (рисунок 1.3) [28, 88].



Рисунок 1.3 – Мировые разведанные запасы угля по странам мира [28]

Более семидесяти процентов добытого в стране угля идет на производство энергии. Около тридцати процентов идут в химическую промышленность, а также металлургию. Среди основных потребителей российского угля за рубежом необходимо отметить Южную Корею и Японию [28].

Основные угольные бассейна России по объемам добычи представлены на рисунке 1.4.

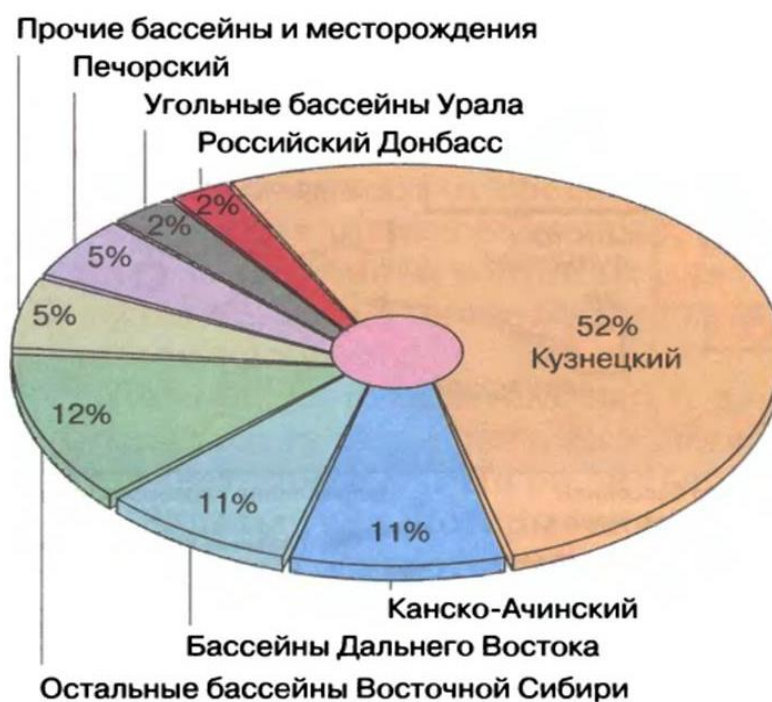


Рисунок 1.4 – Основные угольные бассейны России по объемам добычи [18]

Более половины добываемого угля в стране и более 70% углей ценных коксующихся марок добываются на территории Кузнецкого угольного бассейна. Площадь бассейна составляет 27 тыс. км<sup>2</sup>. Добыча ведется открытым и подземным способом [18, 29].

Месторождения данного угольного бассейна представляют собой основную и самую перспективную ресурсную базу углей различных категорий и марок. Балансовые запасы угля составляют более 68 млрд. тонн [18, 29, 88].

Общее число пластов, залегающих на месторождениях Кузбасса, составляет более 250. Угольные пласты залегают под углом от 0 до 90 градусов. Их мощность не превышает 6 метров при том, что среднее значение мощности составляет 2 метра. Средняя глубина разработки превышает 250 метров, при том что максимальная глубина ведения работ превышает 600 метров [18].

Условия ведения подземных горных работ характеризуются высокой газообильностью, а также большой степенью нарушений угольных пластов. Многие пласты являются удароопасными, угли склонны к самовозгоранию. Порода кровли большинства пластов являются труднообрушаемыми. Порядка 64% от общего числа угольных шахт работают в условиях природной

газоносности более 10 м<sup>3</sup>/т. Опасность горных ударов и самовозгорания угля присутствует более чем на 80% угольных шахт Кузбасса [18, 29].

Угли, добываемые на Кузбассе, характеризуются высоким качеством, что обуславливает их применение от металлургии и строительства до использования в качестве энергетического топлива. Добываемые на Кузбассе угли являются высококалорийными и обладают низкой зольностью. Значительная часть добываемого угля идет на экспорт [15, 29, 59].

Крупными запасами бурого угля обладает Канско-Ачинский угольный бассейн. Балансовые запасы угля составляют 72 млрд. тонн на площади около 60 тыс. км<sup>2</sup>. Рабочие пласты характеризуются высокой мощностью от 15 до 100 метров. Горно-геологические условия являются благоприятными, глубина залегания углей незначительная, что способствует ведению добычных работ открытым способом. Угли данного бассейна характеризуются высокой влажностью и являются склонными к самовозгоранию [15].

Добываемые угли используются в энергосистемах Красноярского края, Хакасии и Иркутской области. Угли имеют ограничения по времени хранения и транспортировки. В целях развития энергоемкой промышленности Сибири планируется реализация увеличения добычи угля на территории бассейна. Уголь используется в качестве сырья для синтетического топлива [15, 37].

Крупнейшим угольным бассейном Европы и европейской части России является Печорский угольный бассейн, площадь которого составляет порядка 90 тыс. км<sup>2</sup>. Добываются угли всех типов и марок (в том числе антрациты и бурые угли). Балансовые запасы составляют 210 млрд. т. Среднее значение мощности пластов не превышает 3 метров. При этом их количество превышает 260 пластов [15].

Основной объем добычи осуществляется на предприятиях, ведущих добычу угля подземным способом на глубине до 1200 метров. Месторождения данного угольного бассейна характеризуются сложными горно-геологическими условиями. Большая часть шахт является сверхкатегорийными по газу. Многие

пласты, залегающие под углами от 2° до 90°, опасны по горным ударам, а также внезапным выбросам с метанообильностью, превышающей 30 м<sup>3</sup>/т [15].

Потребность предприятий Центрального, Уральского, а также Северо-Западного Федеральных округов в качественных коксующихся углях обеспечивает Печорский угольный бассейн. Основным потребителем угля являются теплоэлектростанции. Добываемый уголь используется для коммунально-бытовых нужд. В перспективе до 2030 года планируется увеличение добычи угля, а также его экспорта [15, 62].

Балансовые запасы российской части Донецкого угольного бассейна превышают 9 млрд. т. Основными потребителями угля, добываемого на угольных шахтах Донбасса, являются предприятия Северо-Кавказского Федерального округа. Более 60% от общего количества добываемых углей составляют антрациты. На данном угольном бассейне добывается 95% от общего объема добычи антрацитов в стране. Также добываются каменные и коксующиеся угли [15, 85].

Добыча угля осуществляется подземным способом. Мощность пластов составляет 0,5-0,6 м, а зольность угля – до 40 %. Основными потребителями добываемого угля являются электростанции. Кроме электростанций угли данных типов и марок потребляются в коммунально-бытовых нуждах, а также в сельскохозяйственном секторе. Металлургические предприятия региона являются потребителями коксующихся углей [15].

Столбовая система разработки является преобладающей на угольных шахтах страны. Используются комплексно-механизированные очистные забои (КМЗ) [85].

Производительность шахт и среднесписочное число работников представлено на рисунках 1.5-1.6. Несмотря на снижение среднесписочного состава работников, занятых при подземной добыче угля, производительность труда работников возрастает, а нагрузка на очистной забой увеличивается. Растет и доля угля, добытого из КМЗ [62, 87].

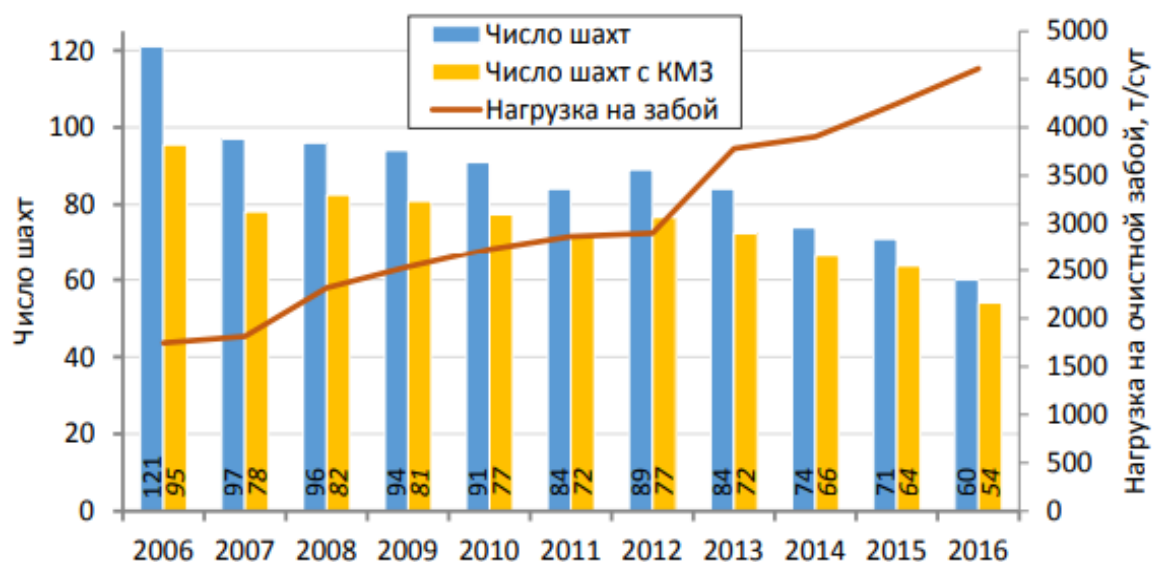


Рисунок 1.5 – Количество предприятий, ведущих добычу угля подземным способом, и их производительность за период 2006-2016 гг. [62]

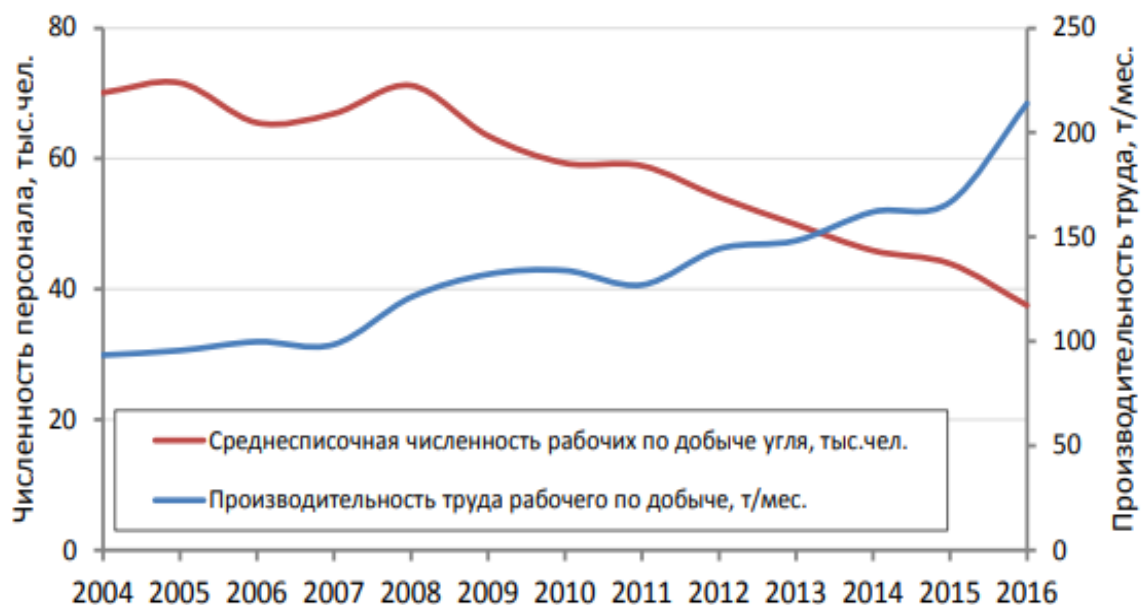


Рисунок 1.6 – Производительность труда и среднесписочное число сотрудников угольных шахт за период 2004-2016 гг. [62]

На рисунке 1.7 представлены основные марки добываемых в России углей [15, 28].

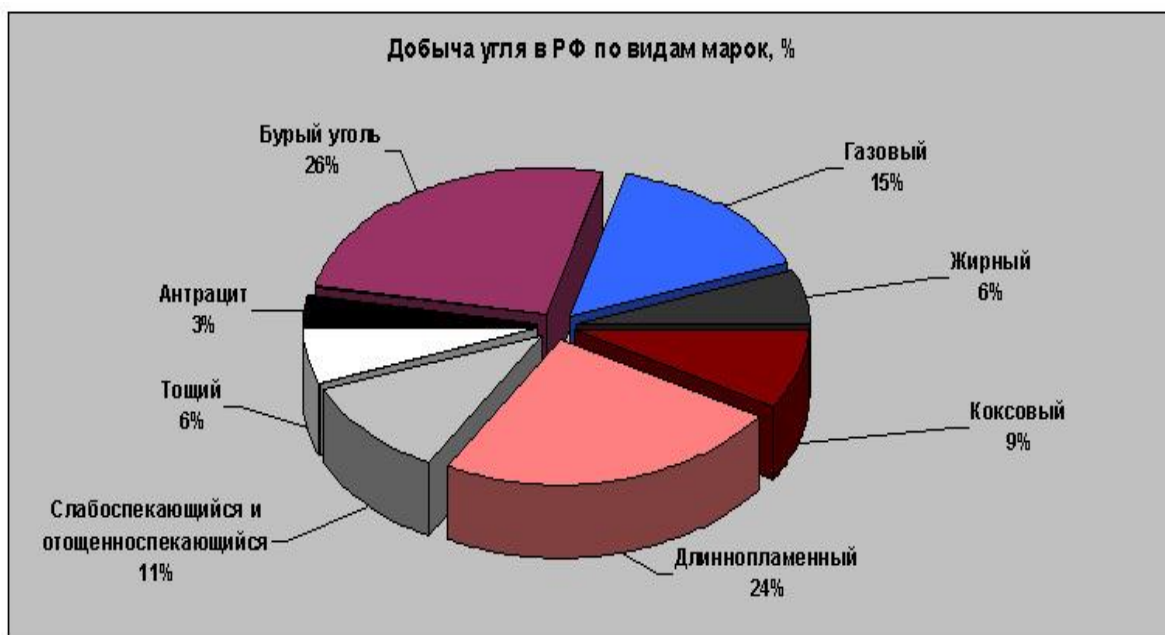


Рисунок 1.7 – Основные марки добываемых в России углей за период 2011-2020 гг. [15]

Среди основных потребителей добываемых в стране углей необходимо отметить энергетическую отрасль, коксохимическое производство, а также население (Рисунок 1.8) [28].



Рисунок 1.8 – Основные потребители добываемого угля в России за период 2004-2016 гг. [28]

Из всего поставленного угля в 2016 году 166 млн. т. пришлось на внутрироссийские поставки, а на экспортные 164 млн. тонн. Динамика



экспортных поставок является положительной, несмотря на проблемы с транспортировкой угля до морских терминалов [28].

На фоне обвала цен на нефть и газ, цены на уголь стабилизировались и достигли докризисных значений. Данные экономические процессы в значительной мере обусловлены повышением спроса в быстроразвивающихся странах Восточной и Юго-Восточной Азии, в которых прогнозируется повышение потребления угля в долгосрочной перспективе. Вместе с тем, в странах Европейского Союза его потребление резко сокращается [15].

С учетом снижения доли потребления газа прогнозируется повышение доли угля в структуре внутреннего потребления топливно-энергетических ресурсов до 20 %. Доля угля в производстве электроэнергии повысится до 44% [28].

Увеличению потенциальной опасности возникновения несчастных случаев способствует рост производительности и рост глубины работ в результате истощения месторождений. Следовательно, на первый план в развитии угольной промышленности России выходят задачи обеспечения безопасности труда подземного персонала [28].

## **1.2 Оценка условий труда на угольных шахтах России**

Сложность горно-геологических условий, применение высокопроизводительного оборудования, а также высокая интенсивность проходческих и добычных работ становятся причиной воздействия опасных производственных факторов на подземный персонал угольных шахт. Влияние на безопасность персонала оказывает и уровень инженерно-технических решений, трудовая дисциплина и профессиональная подготовка [15, 40].

Процент работников угольных шахт, подверженных воздействию опасных производственных факторов представлен на рисунке 1.9.

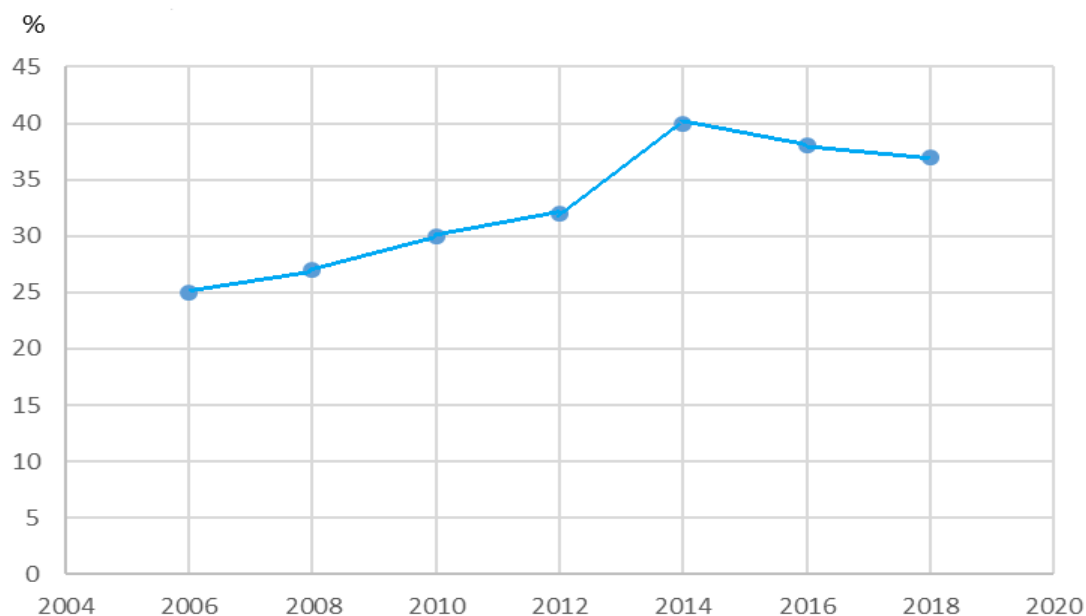


Рисунок 1.9 - Процент работников угольных шахт, подверженных воздействию травмирующих факторов с 2006 по 2018 гг. [20, 30]

Государственная программа реструктуризации угледобывающей отрасли оказала существенное влияние на аварийность и, как следствие, травматизм подземного персонала. Целью данной программы являлась экономическая эффективность предприятий, включающая их приватизацию и акционирование, а также закрытие убыточных и опасных угольных шахт [28, 41].

После проведенных реформ конца прошлого века активная фаза реструктуризации пришлась на период с 2004 по 2016 года, когда были закрыты 56 шахт, эксплуатация которых велась в опасных условиях. Следствием проведенных реформ стало снижение травматизма подземного персонала угольных шахт (рисунок 1.10) [28, 41].



Рисунок 1.10 – Смертельный травматизм на угольных шахтах страны 2004-2016 гг. [28]

Снижению показателя смертельного травматизма в данный период способствовало принятие решений, направленных на совершенствование нормативной базы в сфере охраны труда, а также модернизация систем обеспечения безопасности угольных шахт [20, 28].

Вместе с тем, общая тенденция к снижению числа случаев травматизма сопровождалась периодическими крупными авариями с большим количеством человеческих жертв. Следовательно, существует необходимость глубокого анализа опасных производственных факторов, воздействующих на работников угольных шахт при ведении подземных горных работ по добыче угля [20, 41].

Основные травмирующие факторы, следствием которых являются случаи смертельного травмирования работников добычных участков, представлены на рисунке 1.11.

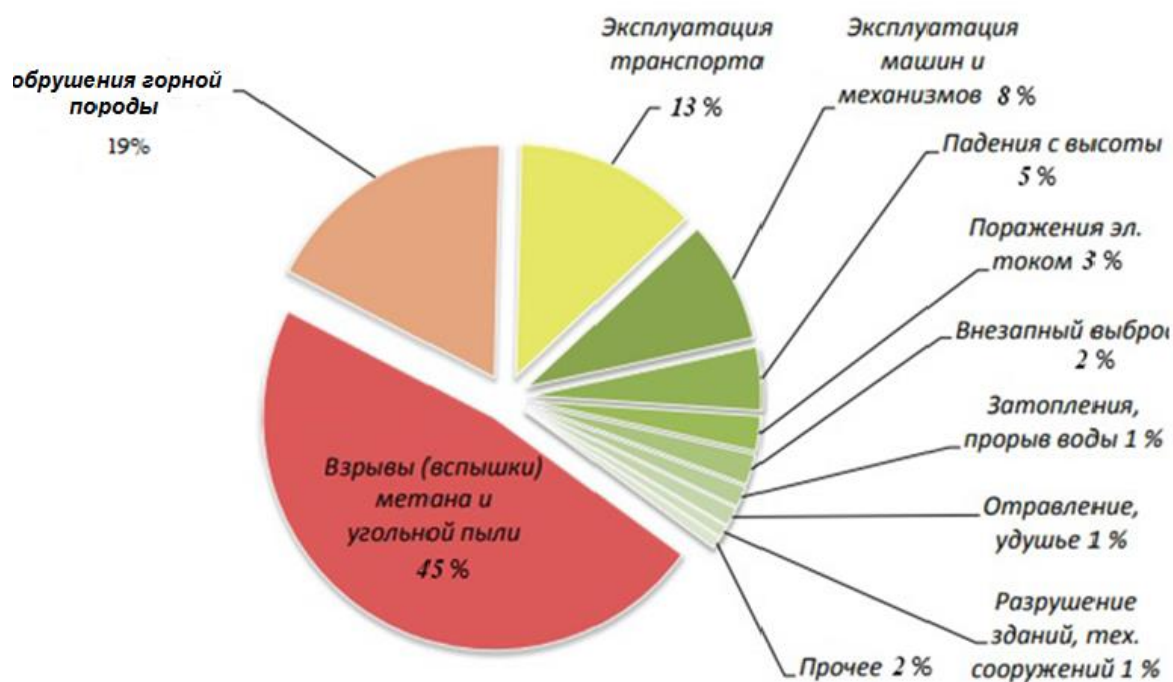


Рисунок 1.11 – Факторы, ставшие причиной гибели работников, занятых при подземной добыче угля за 2006-2020 гг. [20, 30]

Среди основных причин смертельного травматизма необходимо отметить взрывы метана и угольной пыли, травматизм при эксплуатации транспорта, а также машин и механизмов, падения с высоты. Второй по распространенности причиной случаев травматизма на угольных шахтах являются обрушения горных пород, следствием которых явились 19% смертельных несчастных случаев [20, 30].

### 1.3 Понятие индивидуального риска и концепция риск-ориентированного подхода

Индивидуальный риск, выраженный в единицах ( $\text{год}^{-1}$ ), представляет собой ожидаемую частоту гибели работника вследствие воздействия опасного производственного фактора. Использование данной величины способствует переходу к показателю, отражающему количественное значение опасности. Данный переход позволяет проводить сопоставление воздействующих на работника поражающих факторов (рисунок 1.12) [96].

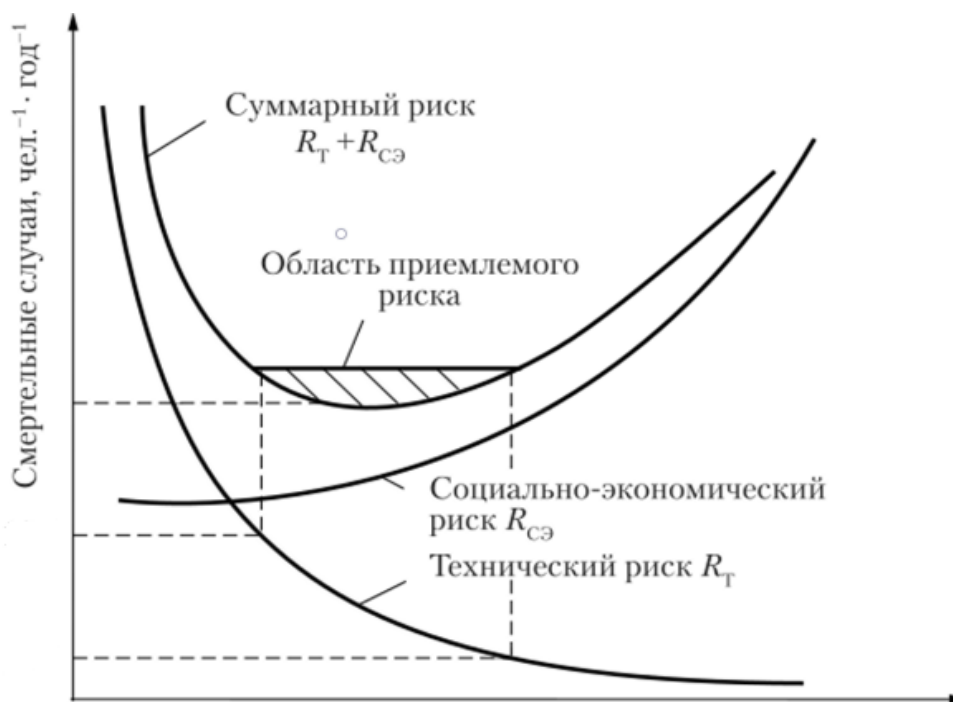


Рисунок 1.12 – Графическое представление приемлемого риска [96]

Вычисление величины допустимого риска производится с учетом существующих технических и экономических возможностей [84, 86, 106].

Величина допустимого риска в разных странах принимается на уровне  $10^{-8} \div 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>. В соответствии с состоянием основных производственных фондов промышленности России, а также анализа периодичности возникновения крупных аварий на производственных объектах и случаев травматизма, определяются уровни допустимости индивидуального риска для работников [47, 56, 95].

Организации работы на угольных шахтах способствует существующий традиционный подход в области обеспечения безопасности, который включает в себя систему норм и правил. Вместе с тем, регулярное возникновение аварий, а также случаев травматизма свидетельствует о необходимости совершенствования существующих методик в области обеспечения безопасности подземного персонала [61, 95].

Формирование норм и правил, формирующихся на основе анализа произошедших аварий и случаев травматизма, носит апостериорный характер. Данные нормы и правила содержат требования и рекомендации, направленные на

повышение уровня охраны труда [22, 69].

Тем не менее, апостериорный анализ не учитывает опасные условия, которые не были выявлены ранее на производстве. С учетом того, что производственная среда угольных шахт является крайне динамичной, а ее формирование происходит под воздействием специфических факторов, минусы апостериорного анализа становятся особенно очевидны [22, 69].

Наличие данных недостатков возможно компенсировать использованием принципов априорного анализа. Априорный анализ позволяет учитывать реализацию потенциальных неблагоприятных событий для данной системы, а также их причины. Данный анализ включает проведение системного исследования опасностей, а также проведение оценки и прогноза рисков в рамках риск-ориентированного подхода (РОП), что делает возможным выявление «узких мест» в системе обеспечения безопасности труда на угольных шахтах [42, 61, 102, 111].

Действующие требования законодательства имеют апостериорный характер, поэтому не учитывают возможные нарушения требований охраны труда [61].

Риск-ориентированный подход включает:

- анализ развития неблагоприятных событий, их сценария, реализации существующих опасностей;
- анализ оценки тяжести последствий, обусловленных потенциальными опасностями;
- анализ принимаемых решений в опасных ситуациях с целью снижения риска [22, 61, 102, 111].

Схема реализации риск-ориентированного подхода представлена на рисунке 1.13.

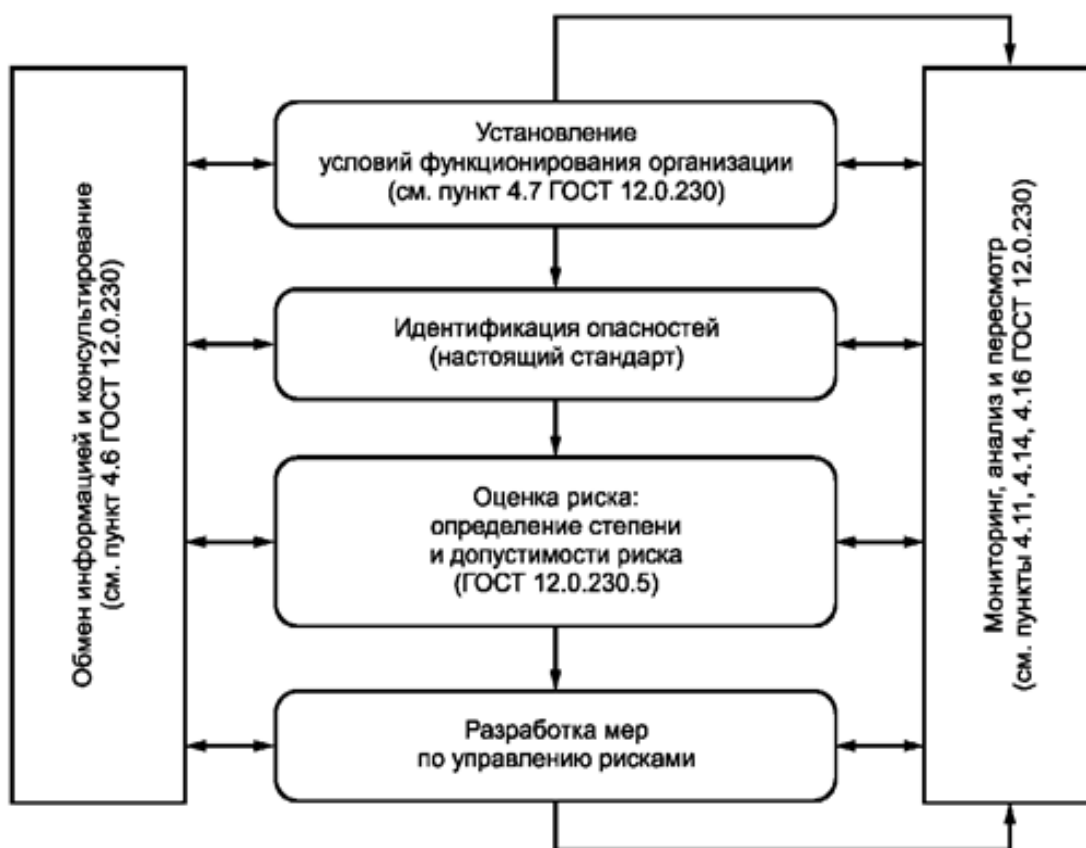


Рисунок 1.13 – Схема реализации риск-ориентированного подхода [22]

Высокая эффективность РОП в международной практике привела к признанию его актуальности для отечественной профессиональной среде. Среди предпосылок его официального закрепления в области охраны труда и промышленной безопасности необходимо отметить создание систем определения и оценки рисков в рамках государственной политики, направленной на предотвращение смертельных травм работников угольных предприятий и определение принципов РОП [61, 64, 78].

На сегодняшний день происходит закрепление принципов РОП в нормативно-правовой базе государства. Происходит регламентирование деятельности, направленной на обеспечение безопасности труда персонала на опасных производственных объектах (ОПО) [22, 42].

Согласно Трудовому кодексу РФ определяется необходимость реализации РОП в целях предотвращения травматизма подземного персонала при реализации мер по управлению охраной труда на угольных шахтах. Управление рисками на угольных шахтах в целях достижения результатов, направленных на обеспечение

охраны труда на предприятии, определено в рамках СУОТ. Порядок СУОТ представлен на рисунке 1.14 [37, 63, 91].



Рисунок 1.14 – Порядок реализации системы управления охраной труда на производстве [37]

Одной из предпосылок организации РОП являлось сокращение, связанное с государственным контролем, административных барьеров в предпринимательстве. Начиная с 2009 года наметилась тенденция к снижению надзорной и контрольной деятельности, которую осуществлял Ростехнадзор в угольной промышленности [31, 56].

Существенное увеличение взыскиваемых штрафов наметилось с 2011 года, причиной чему послужило ужесточение наказаний за нарушение в сфере охраны труда и промышленной безопасности на ОПО [57, 58].

С учетом степени риска, а также возможных последствий аварий и их масштабов, надзорная и разрешительная деятельность Ростехнадзора разделена следующим образом (таблица 1.1):



Таблица 1.1 - Осуществление надзорной деятельности Ростехнадзора в соответствии с классом ОПО [22]

Класс ОПО	Осуществление контрольной деятельности
Первый и второй	$\leq 1$ раз в год
Третий	$\leq 1$ раза в 3 года
Четвертый	проверки не проводятся

В целях создания принципиально новой системы обеспечения безопасности труда подземного персонала сложившиеся условия позволяют использовать в дополнении к традиционному подходу принципы РОП на угольных шахтах [37].

#### 1.4 Анализ методов оценки профессиональных рисков

С целью разработки наиболее эффективной модели оценки величины профессионального риска травматизма подземного персонала угольных шахт был проведен анализ существующих методик оценки рисков. На рисунке 1.15 представлены существующие методы анализа рисков [7].



Рисунок 1.15 – Области применения методов анализа риска [7]

В целях выявления взаимосвязей между конкретными факторами, показателями риска, а также установления взаимосвязей между ними,

используются статистические методы анализа. Они позволяют получить с наименьшим количеством допущений максимально точные результаты [22, 24, 25].

Различные методы анализа рисков позволят обосновать степень использования данного анализа. Вместе с тем, использование данных методов применительно к оценке профессиональных рисков на угольных шахтах затруднено, так как с их помощью для проведения учета редких событий необходимо использование экспертных и вероятностных методов [8, 22, 37, 104].

Элементы теории вероятности, математической статистики, теории надежности в достаточной степени отражены в вероятностных методах, включающих математические имитационные модели. С помощью данных методов возможно проведение моделирования редких событий, учитывающих взаимосвязи показателей, которые выявляются при анализе источников опасности [22, 24, 107].

Определяемые величины представляются различными вероятностными характеристиками. Данные величины определяются на основе моделирования и обработки выходных данных. Применительно к оценке вероятности обрушения горных пород использование вероятностных методов представлено в работах [7, 25].

Приводящая к трудностям при определении исходных данных для установления законов распределения и определения исходных данных информационная неопределенность накладывает определенные ограничения при использовании данных методов. Применительно к обрушениям горных пород необходимо учитывать многочисленные процессы, происходящие в массиве, стремящиеся к возвращению нарушений в состояние равновесия при моделировании различных событий [8, 24, 31].

Следствием этого является сложность при формализации задачи наряду с влиянием комплекса факторов. Результатом перечисленных факторов является снижение точности результатов исследований и увеличение трудозатрат, что

делает использование данных методов нецелесообразным в вопросах комплексного анализа риска [7, 8, 24, 25].

Следовательно, такие полуколичественные методы как матричный, экспертный и балльный получили на практике широкое распространение вследствие информационной неопределенности. Известны методы оценки и ранжирования риска травматизма на угольных шахтах и риска аварий, связанных с обрушениями горных пород, которые основаны на матрице рисков. Матричный метод не применяется в случае, когда возникает необходимость детализации событий [22, 61].

На российских угледобывающих предприятиях матричный метод получил чрезвычайно широкое распространения. В рекомендациях, утвержденных Приказом Ростехнадзора №192, матричный метод оценки профессиональных рисков рассматривается как основной [7, 24, 25].

На основе балльного метода возможно проведения ранжирования угольных шахт, а также отдельных горных выработок по степени опасности обрушения горных пород. Также, в данном методе необходимо учитывать взаимодействие факторов, оценивать поражающее действие обрушений на подземный персонал при определении профессионального риска [22, 37, 75].

Установлено, что на сегодняшний день вопрос методического обеспечения оценки профессионального риска в результате обрушений, соответствующего принципам и установленным требованиям РОП, не решен. Следовательно, задача разработки данного метода является чрезвычайно актуальной. Данный метод должен позволять:

- учитывать совокупность технических, горно-геологических, а также организационных и профессиональных факторов профессионального риска в результате обрушений при условии информационной неопределенности;
- проводить количественную оценку численного показателя риска травматизма персонала при обрушении горных пород с учетом специфики угольных шахт;

- анализ развития вероятных сценариев, а также причин возникновения неблагоприятных событий;
- проводить учет совместного воздействия опасных факторов на показатели риска;
- возможность проведения оценки величины профессионального риска для широкого круга пользователей;
- прогноз развития опасных ситуаций и зон, обусловленных воздействием обрушений горных пород на подземный персонал угольных шахт [22, 24, 25, 103].

### **1.5 Обрушения горных пород как травмирующий фактор на угольных шахтах России**

Обрушения горных пород представляют собой нарушение устойчивого состояния массива горных пород и проявляются в виде вывалов породы в подземные горные выработки на угольных шахтах, а также отделения породы кровли либо ее сдвижения [27, 66].

В угольных шахтах обрушения пород представлены следующими процессами:

- обвалы кусков породы;
- вывалы глыб;
- разрушение пород кровли [13].

Несмотря на локальный характер обрушений горных пород, их последствия зачастую носят чрезвычайно тяжелый характер особенно при необходимости проведения горно-спасательных работ. Также, обрушения чреватые большими материальными потерями [13, 32].

Очистные и подготовительные забои, а также горизонтальные и наклонные горные выработки наиболее подвержены обрушениям горных пород. Наиболее опасны обрушения в очистных забоях вследствие того, что там ведутся очистные работы с наибольшей концентрацией подземного персонала [13].

Обрушения пород вследствие сползания почвы происходят при крутом либо

наклонном залегании. В случаях, когда пласт залегает под углом 36 градусов и более, увеличению зоне обрушения могут способствовать падающие куски горной породы [10, 11, 66].

Согласно статистическим данным, обрушения горных пород в несколько раз чаще происходят в зонах сильной трещиноватости, а также в зонах нарушений (рисунок 1.16) [2, 9].

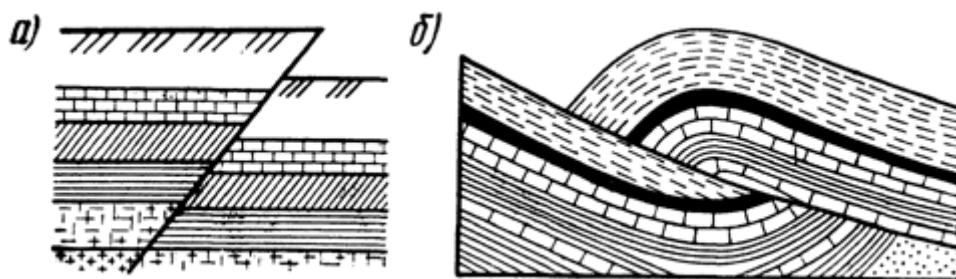


Рисунок 1.16 – Зоны нарушений горных пород, а – сброс; б – надвиг [9]

Кроме трещиноватости к основным характеристикам пород относятся устойчивость, обрушаемость, крепость. С целью определения участков на которых может произойти обрушение горных пород, необходимо проведение осмотра состояния крепи и кровли горной выработки [10, 11, 26, 27].

В лавах случаи травматизма в результате обрушений наиболее часто возникают в следующих случаях:

- в результате поломки крепи;
- падение крепи;
- потери крепью несущей способности [19, 48].

Обрушения горных пород в призабойном пространстве забоев происходят по следующим причинам:

- малый распор стоек крепи;
- зависание кровли;
- несвоевременная установка крепи;
- увеличение площади обнаженной кровли;
- нарушение целостности кровли [19, 66].

Причиной обрушения горных пород также может являться внедрение в массив различных буровых инструментов, а также взрывов в скважинах либо шпурах [1, 2].

Снижение травматизма в результате обрушений осуществляется также и при помощи организационных факторов. К ним относятся:

- организация обучения персонала, его эффективность;
- организация службы контроля;
- система оплаты труда;
- нормы выработки [13].

С целью предотвращения завалов горных выработок проводятся следующие мероприятия:

- контроль герметичности и распора стоек крепи;
- обеспечение невозможности сползания почвы;
- упрочнение кровли и угольного пласта;
- в случаях бесцеликовой технологии (рисунок 1.17) разработки свиты пластов обеспечение оптимального порядка их отработки, правильного расположения очистных выработок [13, 33, 38].

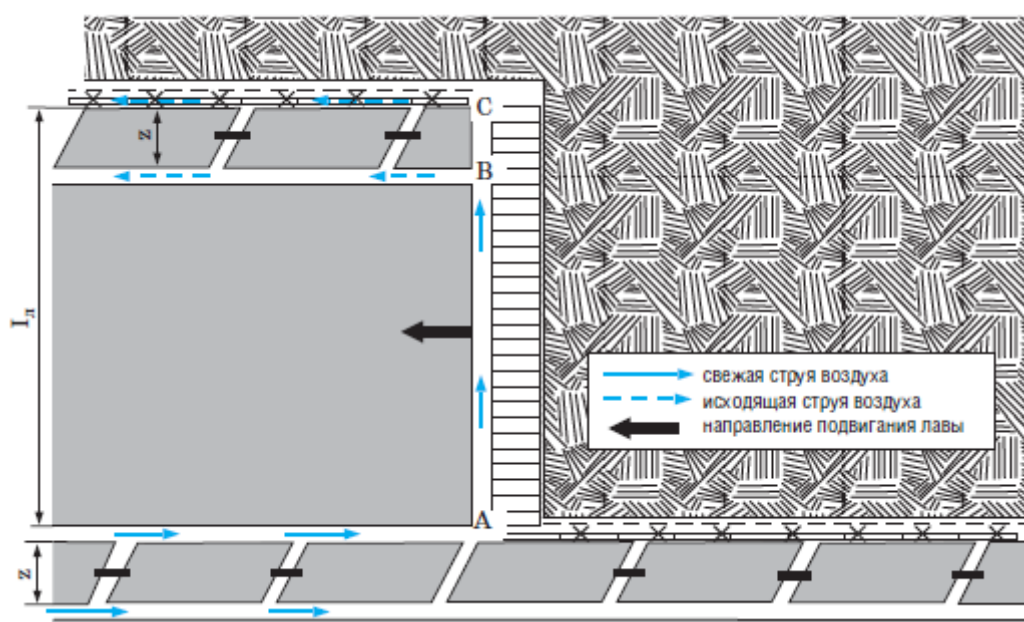


Рисунок 1.17 – Бесцеликовая технология разработки [38]

Основные виды работ, в ходе осуществления которых произошли случаи травматизма в результате обрушения горных пород на угольных шахтах:

- ведение горнопроходческих работ (проведение работ по проходке штреков, проведение камер);
- ведение работ по креплению и перекреплению горной выработки (передвижение секций механической крепи, возведение крепи в забое, работы по извлечению крепи);
- проведение ремонтных и строительных работ (выполнение ремонтных работ в лаве, монтажные работы в монтажной камере, работы по зачистке почвы демонтажного ходка) [20, 30, 68].

Число случаев смертельного травматизма в результате обрушений в зависимости от вида работ за период 2016-2020 гг. на угольных шахтах Кузбасса представлено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Случаи смертельного травматизма на угольных шахтах Кузбасса 2016-2020 гг. [20, 30]

Вид работ	Число смертельных несчастных случаев
Горнопроходческие работы	6
Работы по креплению и перекреплению выработки	9
Проведение ремонтных и строительных работ	5

В соответствии с данными Ростехнадзора обрушения горных пород стали причиной гибели 117 работников угольных шахт за период с 2006 по 2020 гг. (рисунок 1.18) [20, 43].

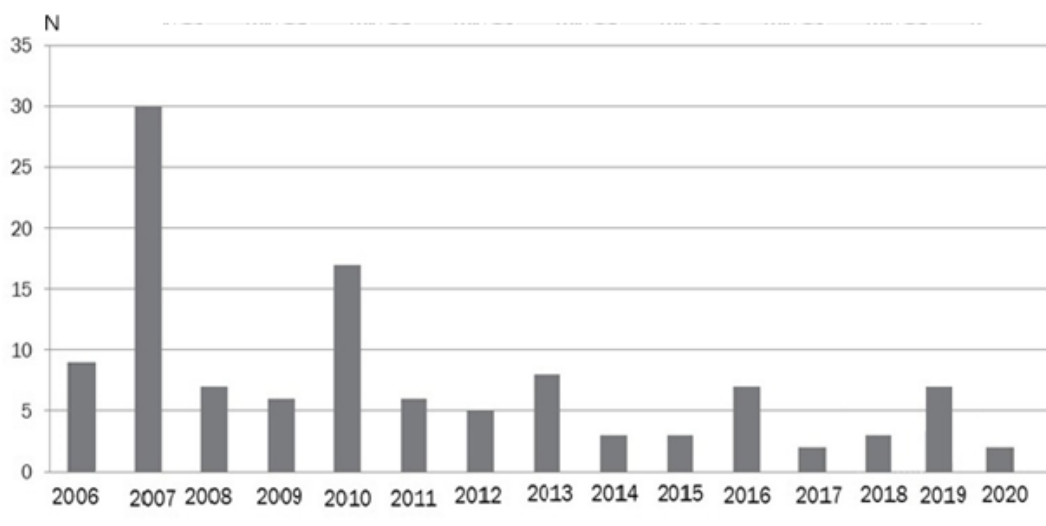


Рисунок 1.18 – Динамика смертельных несчастных случаев на угольных шахтах России за период 2006-2020 гг.,

где N – число смертельных несчастных случаев [20, 43]

Наблюдаемая величина индивидуального риска получения смертельной травмы работником угольных шахт при обрушениях горных пород, в целом по виду экономической деятельности «Добыча угля: подземным способом», за период 2012 - 2019 гг. составляла  $1,8 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup> [30].

Анализ индивидуального риска травматизма подземного персонала угольных шахт Кузбасса представлен во второй главе диссертации.

## 1.6 Выводы по главе 1

1. Обеспечение безопасности труда подземного персонала является важнейшей задачей с учетом повышения интенсивности работ на угольных шахтах России, сопровождающегося увеличением глубины добычных работ и усложнением горно-геологических условий.

2. С учетом описанных в данной главе недостатков существующих методов оценки профессиональных рисков применительно к подземной добыче угля, необходима разработка эффективного метода, позволяющего проводить оценку рисков в условиях недостатка информации о состоянии производственной среды.

3. Анализ статистических данных по травматизму на угольных шахтах свидетельствует о том, что обрушения горных пород являются второй по



распространенности причиной случаев смертельного травматизма подземного персонала.

4. К основным видам работ в ходе осуществления которых произошли случаи травматизма в результате обрушения горных пород, относятся работы по креплению и перекреплению горной выработки, горнопроходческие работы, а также ремонтные и строительные работы.

5. Несмотря на появившуюся в период с 2006 по 2015 гг. тенденцию снижения числа случаев смертельного травматизма работников угольных шахт в результате обрушения горных пород, начиная с 2016 года число смертельных несчастных случаев возрастает, что свидетельствует о необходимости создания эффективных методик определения величины индивидуального риска смертельного травматизма подземного персонала и обоснования мероприятий по управлению риском, учитывающих оперативную информацию о состоянии горного массива.

## **ГЛАВА 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ РИСКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА, ОБУСЛОВЛЕННОГО ОБРУШЕНИЯМИ ГОРНЫХ ПОРОД НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КУЗБАССА**

### **2.1 Определение структуры и динамики травматизма вследствие обрушения горных пород на угольных шахтах Кузбасса**

Кузнецкий угольный бассейн является лидером по добыче угля в Российской Федерации. Более 50 % от всего добываемого в стране угля добывается именно на Кузбассе (рисунок 1.4). При этом число несчастных случаев (легких, тяжелых и смертельных) на предприятиях данного угольного бассейна остается недопустимо высоким [18, 29].

К легким травмам относятся повреждения легкой, а также средней тяжести, позволяющие восстановить трудоспособность работника с течением времени. Среди легких травм применительно к травматизму на угольных шахтах в результате обрушений горных пород относят:

- ушибы;
- растяжения;
- переломы;
- сотрясение мозга [18, 20, 29].

Последствия тяжелого травматизма являются необратимыми, вследствие данных травм работник получает инвалидность, повреждения здоровья угрожают его жизни. К тяжелым травмам применительно к обрушениям на угольных шахтах относят:

- сложные переломы опорно-двигательной системы;
- повреждения, в результате которых пострадавший теряет более 20% крови;
- нанесенный ущерб внутренним органам;
- травма головного мозга;

- кома;
- потеря речи, зрения или слуха [20, 29].

С 2011 по 2020 года на предприятиях Кузбасса, ведущих добычу угля подземным способом, произошло 97 несчастных случаев, обусловленных обрушениями. При этом преобладали случаи легкого травматизма (51 несчастный случай). Случаев тяжелого и смертельного травматизма насчитывалось соответственно 16 и 30 (рисунок 2.1) [30, 98].



Рисунок 2.1 – Структура профессиональных рисков на угольных шахтах Кузбасса 2011-2020 гг. [30]

Распределение несчастных случаев по степени тяжести за период 2011-2020 гг. представлено в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Число случаев травматизма по степени тяжести на угольных шахтах Кузбасса вследствие обрушения горных пород за период 2011-2020 гг. [20]

Год	Легкий	Тяжелый	Смертельный
2011	5	2	4
2012	11	3	3
2013	5	1	6
2014	12	4	1

## Продолжение таблицы 2.1

2015	5	2	2
2016	4	2	5
2017	3	0	1
2018	2	1	1
2019	2	1	5
2020	2	0	2

При этом обрушения горных пород являются наиболее частой причиной случаев травматизма на угольных шахтах Кузбасса за период 2011-2020 гг. (рисунок 2.2) [30, 98].



Рисунок 2.2 – Основные причины травматизма на угольных шахтах Кузбасса за период 2011-2020 гг. [30]

Установлено, что наиболее часто случаи травматизма подземного персонала угольных шахт Кузбасса происходят в лавах. Кроме этого несчастные случаи происходили в вентиляционных и конвейерных штреках [20, 29, 98].

Добыча полезного ископаемого производится непосредственно в лавах. Данный тип горных выработок состоит из призабойного и выработанного пространства [9].

Вентиляционный штрек предназначен для выдачи из лавы отработанного воздуха и доставки в лаву к месту очистных работ оборудования и материалов [10, 15].

Конвейерный штрек предназначен для транспортирования угля, пропуска свежей струи воздуха, передвижения людей, стока воды [71].

Уклон данной горной выработки не превышает 3 градуса, выхода на поверхность нет. Проводится по простиранию наклонно залегающего месторождения либо в любом направлении при горизонтальном залегании полезных ископаемых [71].

За период с 2011 по 2020 гг. в лавах угольных шахт Кузбасса произошло 97 несчастных случая вследствие обрушения горных пород. Число несчастных случаев в соответствии с типом горных выработок за рассматриваемый период представлено в таблице 2.2 [20].

Таблица 2.2 – Число несчастных случаев в результате обрушений горных пород на угольных шахтах Кузбасса в соответствии с типом горных выработок за период 2011-2020 гг. [20]

Год	Лава	Конвейерный штрек	Вентиляционный 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

Установлено, что 53% от общего числа несчастных случаев произошло в лавах, 22% в конвейерных штрехах, а 25% в вентиляционных штрехах (рисунок 2.3) [98].



Рисунок 2.3 – Травматизм на угольных шахтах Кузбасса за период 2011-2020 гг. в соответствии с типом горных выработок [98]

Динамика несчастных случаев в лавах угольных шахт Кузбасса представлена на рисунке 2.4.

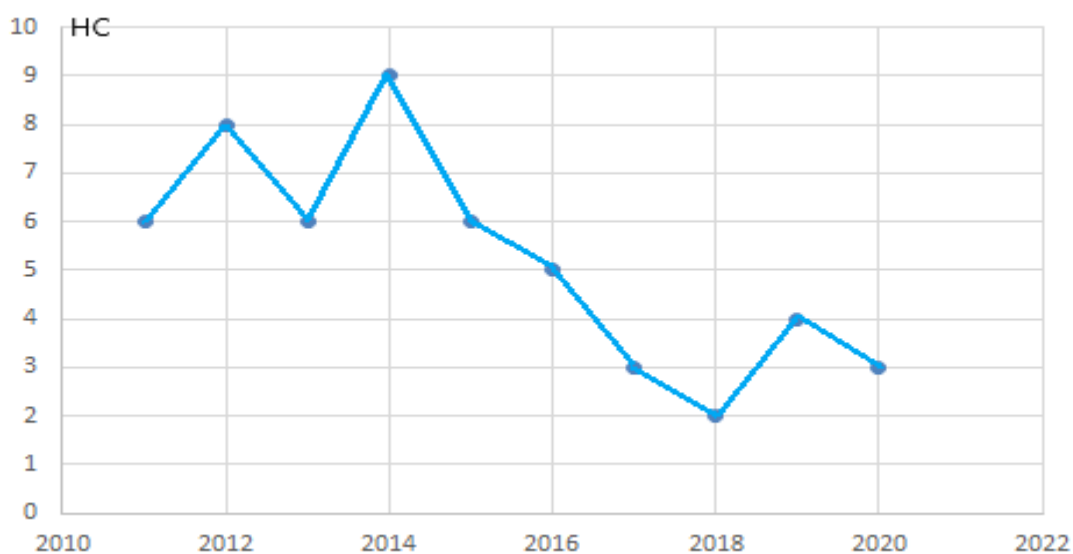


Рисунок 2.4 – Динамика несчастных случаев в лавах угольных шахт Кузбасса 2011-2020 гг. [98]

Динамика несчастных случаев в конвейерных и вентиляционных штреках угольных шахт Кузбасса представлена на рисунке 2.5.

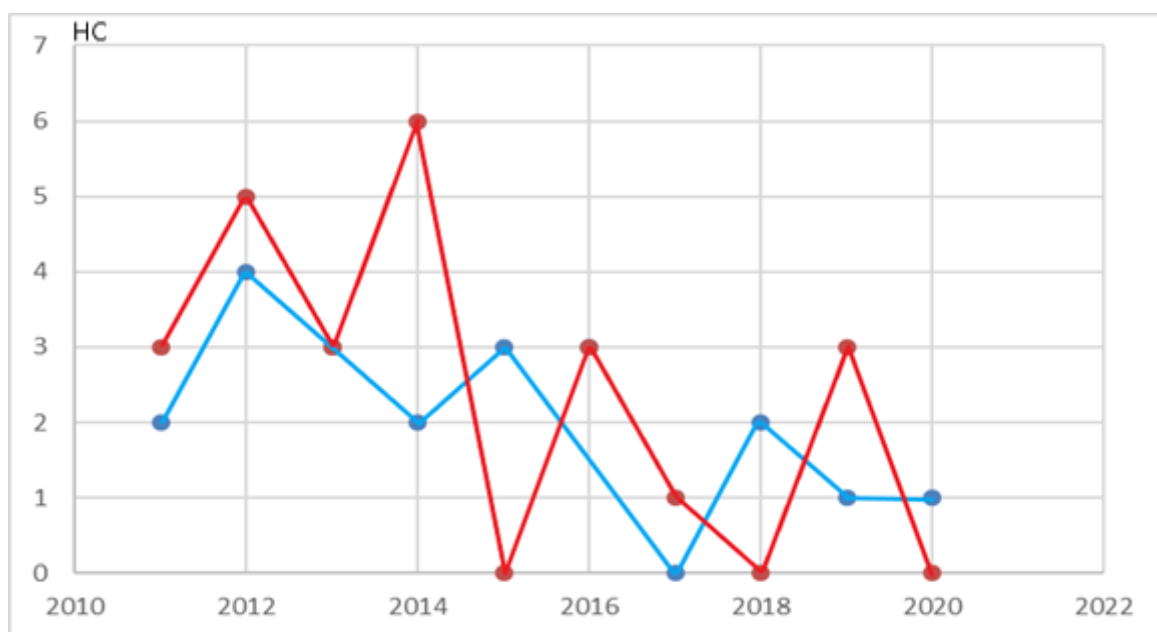


Рисунок 2.5 – Динамика несчастных случаев в конвейерных и вентиляционных штреках угольных шахт Кузбасса за 2011-2020 гг.; синий цвет – конвейерные штреки, красный цвет – вентиляционные [98]

На рисунке 2.6 представлена динамика несчастных случаев различной степени тяжести, произошедших в лавах угольных шахт Кузбасса за период 2011-2020 гг. [30].

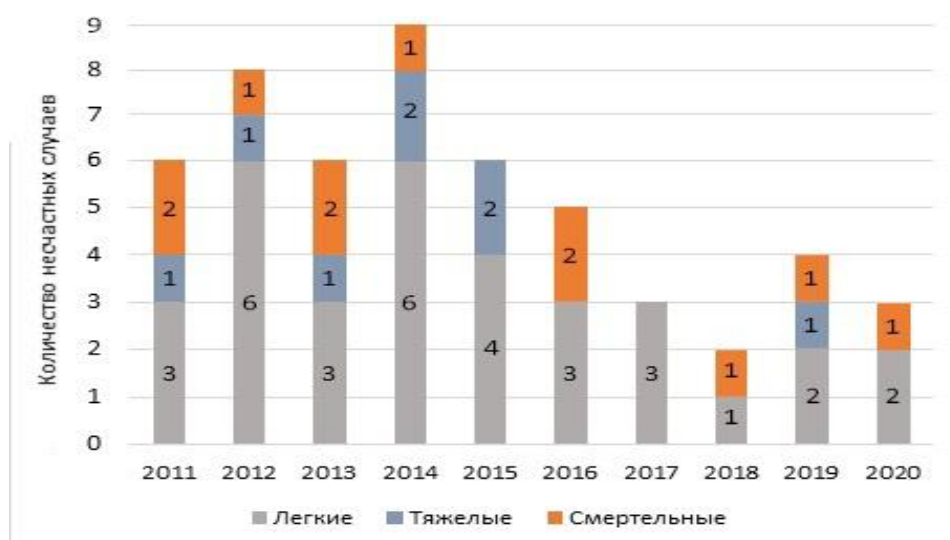


Рисунок 2.6 – Динамика и структура случаев травматизма в лавах угольных шахт Кузбасса за период 2011-2020 гг. [30]

Исходя из того, что наибольшее число случаев травматизма на угольных шахтах Кузбасса происходят в лавах, наибольшее внимание при разработке

мероприятий, направленных на управление риском необходимо уделять данному типу горных выработок.

## **2.2 Определение величины и динамики риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма, обусловленного обрушениями горных пород, на угольных шахтах Кузбасса**

Понятие индивидуального риска включает вероятность поражения отдельной личности (работника) вследствие воздействия исследуемого фактора за определенный временной интервал при условии реализации неблагоприятного события с учетом вероятности его нахождения в зоне поражения [67].

Количественное значение индивидуального риска травматизма работника находится как отношение количества пострадавших работников вследствие воздействия определенного фактора к общему количеству работников, рискующих травмироваться за определенный временной интервал (апостериорное определение). Трактовать данное понятие нужно с учетом видов деятельности, а также статистических данных относительно несчастных (смертельных) случаев за определенный временной интервал, которые возникли в результате данного вида деятельности [7].

Огромное влияние на индивидуальный риск оказывают квалификация работника, его готовность к действиям в чрезвычайной ситуации, а также его защищенность. Как правило, определение индивидуального риска проводится не для конкретного работника, а для различных профессиональных групп, деятельность которых характеризуется примерно одинаковым временем нахождения в опасных зонах и одинаковыми средствами защиты. Отдельно определяется индивидуальный риск для населения прилегающей к предприятию территории [42, 49].

Определение величины индивидуального риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма для угольных шахт проводится по формуле 1:

$$R_{\text{инд } i} = \frac{N_i}{Q_{\text{св}}} \quad (1)$$



где  $R_{\text{инд}i}$  – индивидуальный риск легкого, тяжелого либо смертельного травматизма, год<sup>-1</sup>;

$N_i$  – число случаев легкого, тяжелого либо смертельного травматизма;

$Q_{\text{сс}}$  – среднесписочная численность персонала по подземной добыче угля, чел. [37, 50].

Принятие решения о допустимости риска предлагается проводить на основе сопоставления полученного значения с величиной  $2,5 \cdot 10^{-4}$  – средним значением допустимого риска в профессиональной сфере [47].

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<sup>-1</sup>. Индивидуальный риск легкого и тяжелого травматизма составили соответственно  $8 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup> и  $3 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>.

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

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

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

Величины риска общего, легкого, тяжелого и смертельного травматизма в зависимости от года в целом по Кузбассу представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Значения индивидуального риска травматизма подземного персонала угольных шахт Кузбасса по степени тяжести за период 2011-2020 гг.

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

Пример расчета величины индивидуального риска смертельного травматизма работников угольных шахт Кузбасса за 2011 год представлен в формуле 2:

$$R_{\text{инд ст}} = \frac{N_{\text{ст}}}{Q_{\text{сс}}} = \frac{4}{6468} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1} \quad (2)$$

где  $R_{\text{инд ст}}$  – величина индивидуального риска смертельного травматизма,  $\text{год}^{-1}$ ;

$N_{\text{ст}}$  – число смертельных несчастных случаев, обусловленных обрушениями горных пород на угольных шахтах Кузбасса за 2011 год;

$Q_{\text{сс}}$  – среднесписочная численность работников угольных шахт Кузбасса (2011 год) [37].

Пример расчета величины индивидуального риска тяжелого травматизма работников угольных шахт Кузбасса за 2011 год представлен в формуле 3:

$$R_{\text{инд тт}} = \frac{N_{\text{тт}}}{Q_{\text{сс}}} = \frac{2}{6468} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1} \quad (3)$$

где  $R_{\text{инд тт}}$  – риск получения тяжелой травмы работником угольных шахт Кузбасса, год<sup>-1</sup>;

$N_{\text{тт}}$  – число случаев тяжелого травмирования на угольных шахтах Кузбасса за 2011 год;

$Q_{\text{сс}}$  – среднесписочная численность работников угольных шахт Кузбасса (2011 год) [37].

Пример расчета индивидуального риска легкого травматизма представлен в формуле 4:

$$R_{\text{инд лт}} = \frac{N_{\text{лт}}}{Q_{\text{сс}}} = \frac{5}{6468} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1} \quad (4)$$

где  $R_{\text{инд лт}}$  – индивидуальный риск легкого травмирования работников угольных шахт Кузбасса, год<sup>-1</sup>;

$N_{\text{лт}}$  – число случаев легкого травмирования на угольных шахтах Кузбасса за 2011 год;

$Q_{\text{сс}}$  – среднесписочная численность работников угольных шахт Кузбасса (2011 год) [37].

Динамика риска общего травматизма представлена на рисунке 2.7.

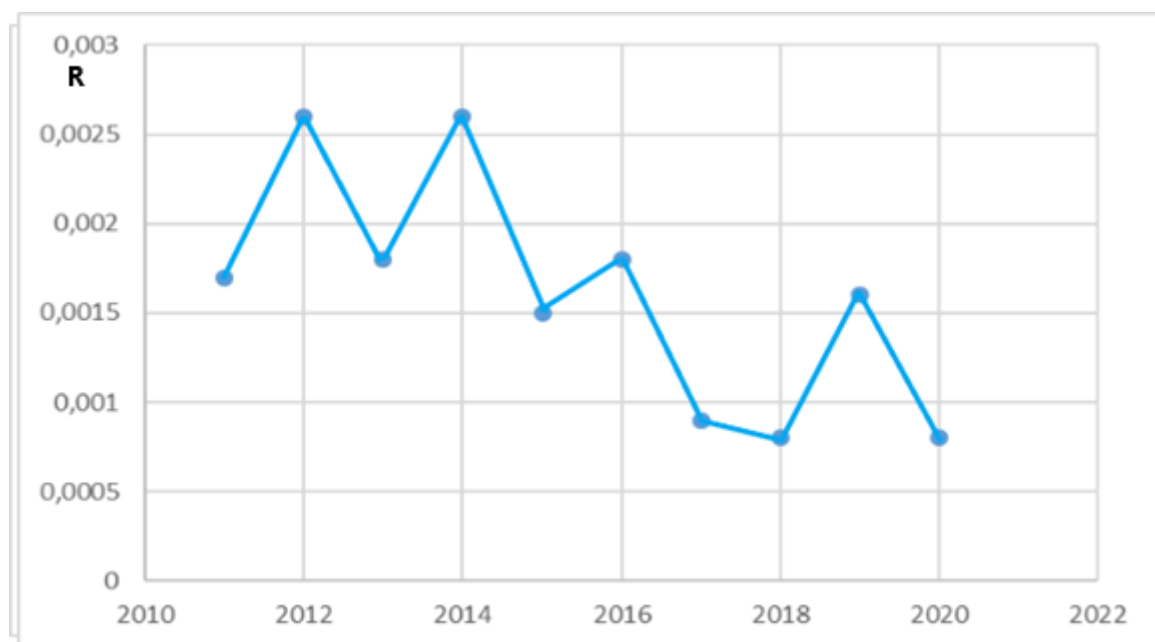


Рисунок 2.7 – Динамика риска общего травматизма подземного персонала угольных шахт Кузбасса вследствие обрушения горных пород за период 2011-2020 гг.

Динамика риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма представлена на рисунке 2.8.

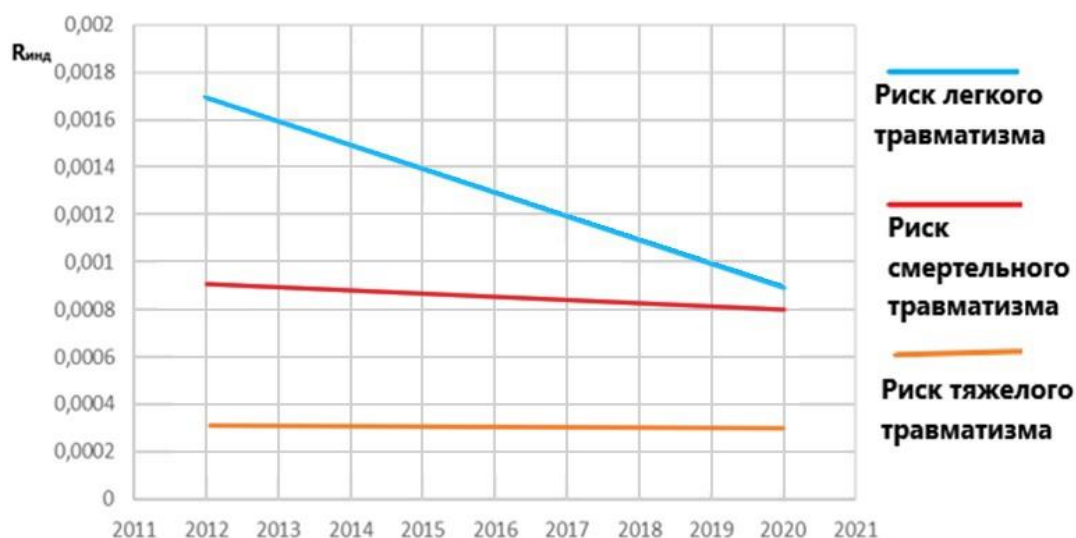


Рисунок 2.8 – Динамика риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма подземного персонала угольных шахт Кузбасса за период 2011-2020 гг.

Риск легкого травматизма характеризуется линейной корреляцией с отрицательным коэффициентом регрессии, что свидетельствует о его снижении, а риски тяжелого и смертельного травматизма практически постоянны.

### 2.3 Выводы главе 2

1. Обрушения горных пород являются наиболее частой причиной несчастных случаев на угольных шахтах Кузбасса, составляя 22,3% от общего числа случаев травмирования.

2. В структуре профессиональных рисков, обусловленных обрушениями горных пород на угольных шахтах Кузбасса, легкий, тяжелый и смертельный травматизм составляют соответственно 53, 16 и 31%.

3. Среднее значение наблюдаемого индивидуального риска на угольных шахтах Кузбасса, обусловленного обрушениями горных пород, в целом по виду экономической деятельности для риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма составляло соответственно  $8 \cdot 10^{-4}$ ,  $3 \cdot 10^{-4}$  и  $5 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>.

4. Установлено, что за период с 2011 по 2020 года риск общего травматизма на угольных шахтах Кузнецкого угольного бассейна снижается.

5. Риск легкого травматизма характеризуется линейной корреляцией с отрицательным коэффициентом регрессии, что свидетельствует о его снижении. Риски тяжелого и смертельного травматизма практически постоянны.

6. Наиболее часто случаи травматизма подземного персонала угольных шахт Кузбасса происходят в лавах, на которые приходится 53% несчастных случаев.

7. Среди несчастных случаев, произошедших в лавах угольных шахт Кузбасса за период с 2011 по 2020 гг. преобладали случаи легкого травматизма.

8. Принятие решения о допустимости риска предлагается проводить на основе его соотношения с величиной  $2,5 \cdot 10^{-4}$  – средним значением допустимого риска в профессиональной сфере.

## ГЛАВА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ОБРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ, ПОСТУПАЮЩИХ ОТ МФСБ

### 3.1 Применение многофункциональных систем безопасности на угольных шахтах

Угольные шахты представляют собой сложную природно-техногенную систему, которая является опасным производственным объектом. В угольных шахтах протекают различные горно-геологические, технологические, аэрологические и физико-химические процессы, которые являются причинами инцидентов и аварий, следствием которых являются случаи легкого, тяжелого и смертельного травматизма [4, 5, 14, 79].

Обусловленная экономическими критериями оптимизация добычи угля подземным способом приводит к увеличению интенсивности производственных процессов при существующих ограничениях, которые накладываются требованиями охраны труда, а также промышленной безопасности [4, 5, 72].

В целях предотвращения случаев травмирования персонала и сохранения оптимальных темпов производственного процесса необходимо использование организационно-технических мер, которые основаны на риск-ориентированном подходе. Данный подход включает контроль опасных производственных факторов с учетом обработки данных, осуществляемых в рамках систем управления промышленной безопасностью (рисунок 3.1) [5, 14, 72].

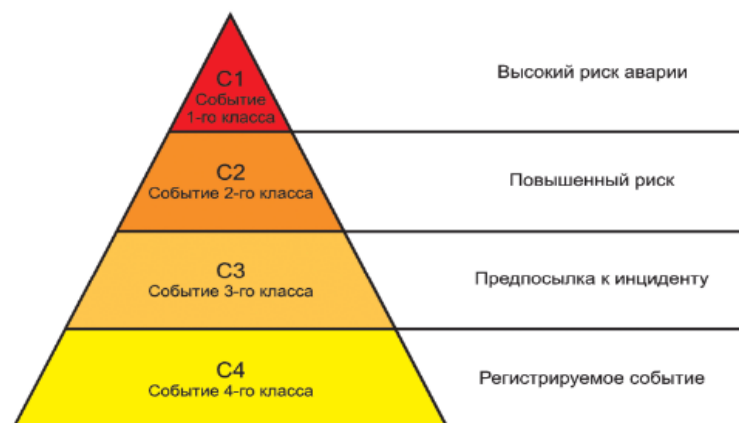


Рисунок 3.1 – Пирамида событий промышленной безопасности [5, 14, 23]

Система управления промышленной безопасностью представляет собой совокупность мероприятий, направленных на обеспечение безопасности труда персонала и предусматривающая предотвращение возникновения опасных ситуаций (аварий и инцидентов), а также их последствий. Реализация мероприятий осуществляется на основе менеджмента риска с учетом информации, поступающей от многофункциональных систем безопасности (МФСБ) [4, 5].

МФСБ – комплекс технологических, технических, информационных и инженерных систем, а также производственных мероприятий и персонала, направленных на реализацию проектных решений с целью снижения риска травматизма при ведении подземных горных работ, обусловленного производственными и горно-геологическими факторами [4, 23].

Осуществление снижения уровня риска до допустимых величин осуществляется на основе следующих мер:

- снижения вероятности реализации аварии;
- предотвращение условий для возникновения аварий;
- предотвращения развития аварии;
- снижение ущерба от аварии;
- предоставление достоверной информации работникам, принимающим решения об угрозах и опасностях, а также их развитии;
- контроль реализации проектных решений;
- готовность средств противоаварийной защиты и управления;
- противоаварийная защита и управление [23].

Оснащение угольных шахт МФСБ регламентировано согласно ГОСТ Р 55154-2019 (Приложение А). Данные системы включают весь набор различных технических и информационных систем, а также весь набор информации за определенный период для проведения необходимых оценок величин исследуемых факторов. Схема установки МФСБ применительно к угольной шахте представлена на рисунке 3.2 [5].

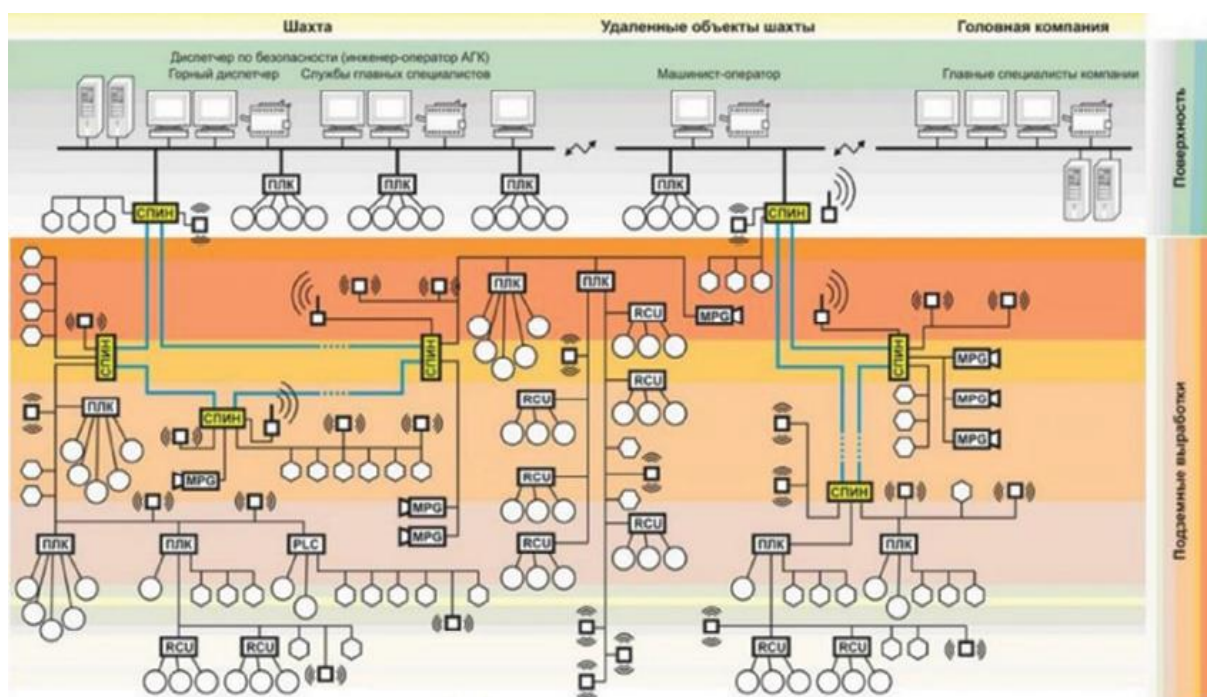


Рисунок 3.2 – Схема МФСБ применительно к угольной шахте [5]

Применение МФСБ на угольных шахтах направлено на предотвращение аварий, а также случаев травматизма персонала в результате воздействия опасных факторов. Предотвращение данных событий возможно благодаря осуществлению:

- прогноза состояния элементов шахты, а также ее окружения;
- ведения мониторинга состояния производственных и технологических процессов;
- выявления угроз на всех этапах производственного процесса;
- мониторинга элементов шахты;
- оценки признаков и тенденций развития опасных событий;
- контроля и управления в рамках промышленной безопасности;
- планирования мер по предотвращению аварий и, как следствие, случаев травматизма;
- информирования персонала о возникновении опасностей и рисков;
- управления рисками, возникающими при эксплуатации угольных шахт;
- применения индивидуальной и коллективной защиты персонала;
- обеспечения готовности предприятия к аварийным ситуациям и ликвидации последствий;
- использования данных, получаемых в результате анализа полученной



информации о состоянии производственной среды в рамках промышленной безопасности [4, 23].

Применение МФСБ на угольных шахтах направлено на проведение оценки и контроля следующих факторов, а также оценки их влияния на подземный персонал:

- взрывы метана;
- прорывы воды;
- обвалы и обрушения горной массы;
- горные удары, пучения почв и внезапные выбросы;
- пожары и возгорания и т.д. [23].

В соответствии с ГОСТ 24.104 и ГОСТ 34.003 подсистемы МФСБ должны быть автоматизированы. Их количество, а также состав может меняться применительно к конкретным условиям на угольной шахте [4, 23].

При переходах на работу системы в предаварийном либо аварийном режиме, происходит срабатывание автоматических технических средств, входящих в МФСБ с целью оповещения работников угольных шахт о возникновении опасной ситуации. В случае, если системы связи не повреждены в результате аварии, подсистема получает команды из диспетчерской, находящейся на поверхности [5, 23].

В целях передачи обычной либо экстренной информации используются стандартные, используемые в нормальных условиях при осуществлении производственных операций, и перспективные каналы связи. При возникновении необходимости передачи визуальной либо акустической информации используют информационное табло или светозвуковое оборудование [5, 23].

Система получает информацию о состоянии производственной среды от систем управления и контроля пунктов спасения персонала, а также пунктов переключения в самоспасатели. Система работает в нормальном, предаварийном и аварийном режимах. Состав различных подсистем на этапе проектирования определяется в соответствии с этапом внедрения [23].

Необходимым условием при проектировании МФСБ является экспертное обследование, которое выполняется комиссией, состоящей из экспертов в данной области, а также оценка результатов геодинамических исследований. В результате определяются необходимые мероприятия, направленные на защиту угольной шахты и подземного персонала и представленные различными техническими решениями [4].

Проводится обследование геологической среды, аэрологии, оборудования и сооружений, гидрологии. Необходимо учитывать удаленность предприятия от региональных подразделений Министерства чрезвычайных ситуаций. Все результаты обследований заносятся в экспертное заключение и содержат результаты и выводы [23].

Технический проект, составляемый при проектировании МФСБ, включает:

- структуру и схему МФСБ;
- план расположения элементов подсистем МФСБ, устанавливаемых на угольной шахте;
- структуру функционирующих подсистем;
- соединительные схемы;
- сборочные чертежи;
- технические расчеты с пояснениями и описаниями, документация на проведение работ [23].

Проектирование подсистем проводится в соответствии со следующими нормативными документами:

- ГОСТ Р ИСО 10006;
- ГОСТ Р 57193;
- ГОСТ Р МЭК 870-1-1 [23].

Для утверждения проекта, включающего в себя состав МФСБ, необходимо положительное заключение экспертизы промышленной безопасности [23].

Средства мониторинга и контроля, которые не входят в МФСБ и не имеющие статус средств измерений, не подлежат государственному регулированию в рамках обеспечения единства измерений [23].

Использование типовых и нетиповых проектных решений определяется сложностью и объемом работ на угольной шахте. Вместе с тем, использование данных проектных решений не должно негативно сказываться на характеристиках применяемых МФСБ [23].

Применяемые МФСБ должны быть адаптивны к изменению производственной среды на угольной шахте, а также обладать адекватностью применительно к опасностям, которые характерны для контролируемых подсистемой зон. Данное свойство позволяет избежать ошибок при построении и реализации подсистем и реализуется в соответствии с ГОСТ Р 53704, позволяя проводить учет динамики аварий и различных опасностей [23].

Важнейшим условием функционирования МФСБ является возможность ее расширения при развитии шахты. Оформление документов, содержащих проектные решения, должно проводиться в виде дополнения к документации по техническому перевооружению. Необходимо проведение экспертизы промышленной безопасности [5, 23].

Поступающая от МФСБ информация используется при анализе факторов, ставших причиной аварии. Все данные, которые поступают от подсистем, реализуемых в рамках МФСБ, должны храниться в базе не менее чем 1 год [23].

Проект МФСБ регламентирует контроль содержания газов в рудничной атмосфере, таких как метан, оксид и диоксид углерода, кислород и т.д., параметров взрывоопасности пыли, скорости потока воздуха. Средства контроля данных параметров должны удовлетворять требованиям Государственной системы обеспечения единства измерений. МФСБ обеспечивают контроль получения подземным персоналом средств аварийного оповещения, позиционирования и поиска, светильника, перемещения работников по выработкам. При ведении горных работ в шахтах, опасных по газу, МФСБ должны контролировать получение персоналом средств анализа газов [23].

Использование новых технологий и программных средств в целях предупреждения аварий и случаев травматизма подземного персонала допускается в случае их соответствия требованиям промышленной безопасности, которые

предъявляются к опасным производственным объектам. Программные средства используются для проектирования и расчетов систем дегазации, энергоснабжения, проветривания и др. [23].

Уровень автоматизации технологических процессов на производстве определяет структуру построения МФСБ, алгоритмы взаимодействия их подсистем [23].

Ключевым этапом контроля в целях выявления и последующего устранения причин нарушений и несоответствий является идентификация результатов контроля производственных процессов, деятельности и профессиональных навыков подземного персонала. В зависимости от условий, в которых ведется производственная деятельность при ведении подземных горных работ по добыче угля, устройства сигнализации могут быть автономными либо централизованными [23].

При реализации МФСБ на угольной шахте необходима установка защиты от несанкционированного доступа и изменения программ, баз данных и т.д. Предусматривается уровень доступа для определенных категорий работников угольных шахт в целях управления, а также изменения структуры МФСБ, замены приборов контроля и сигнализации опасностей. Необходимо исключить возможность корректировки баз данных, содержащих подлежащие контролю параметры. Для различных категорий работников устанавливаются разные уровни доступа [5, 23].

Технические средства, применяемые в рамках МФСБ, должны соответствовать следующим требованиям:

- для технических средств, работающих в подземных условиях – УХЛ 5.1;
- устойчивости к климатическим воздействиям по ГОСТ 15150 и ГОСТ 15543.1;
- устойчивости к другим воздействующим факторам по ГОСТ 14254;
- для технических средств, работающих на поверхности. — УХЛ 4.2 [23].

Необходимым условием при проведении ремонтных работ технических средств МФСБ является их ремонт специализированными предприятиями-

изготовителями по их чертежам. Соблюдение правил и норм безопасности при эксплуатации систем лежит в основе обеспечения безопасности на угольной шахте [23].

Технические средства, входящие в состав подсистем в рамках МФСБ должны соответствовать требованиям пожарной, электро- и взрывобезопасности. Данные требования установлены следующими нормативными документами:

- ГОСТ 12.2.003;
- ГОСТ 12.2.091;
- ГОСТ 12.1.004;
- ГОСТ 12.1.010;
- ГОСТ 12.2.007.0 [23].

Мероприятия в рамках использования МФСБ включают:

- организация и проведение планового технического обслуживания в сроки, установленные в эксплуатационной, а также нормативной документации;
- создание структурного подразделения в целях организации безопасной эксплуатации технических средств и информации, поступающей от них;
- неплановое техническое обслуживание;
- проведение планово-предупредительных ремонтов;
- организация текущего ремонта с использованием обменного фонда (если это прописано в эксплуатационных документах);
- организация ремонтных работ пришедших в негодность технических средств, отправка и получение их из ремонта;
- создание условий для хранения и содержания в надлежащем состоянии приборов и устройств, оборудования, материалов и инструментов, которые необходимы при проведении ремонтных работ и работ по замене технических подсистем МФСБ;
- наличие обменного фонда в достаточном для проведения восстановительных работ количестве с целью их оперативного осуществления;
- технический контроль состояния подсистем в рамках применяемых МФСБ;

- контроль основных зон и проведение их технических осмотров, осуществление мониторинга которых проводится на основе подсистем, входящих в МФСБ;

- освидетельствование подсистем, входящих в МФСБ, по результатам эксплуатации;

- ведение паспортов и журналов документации технических подсистем в рамках МФСБ;

- организация процесса утилизации выработавших срок либо испорченных в результате эксплуатации технических средств подсистем МФСБ;

- обеспечение проведения статистического анализа по результатам эксплуатации подсистем, входящих в МФСБ [23].

Списания технических средств, входящих в состав подсистем МФСБ, необходимо проводить после их технического освидетельствования, которое проводится по истечению срока их службы. Срок службы и предельное состояние технических средств устанавливается технической документацией. Основанием для списания и последующей утилизации является экспертное заключение [23].

Экспертная оценка построения подсистем и МФСБ в целом проводится для:

- состава ее технических подсистем;
- структуры;
- обеспеченности систем и подсистем технической документацией;
- установленных алгоритмов взаимодействия подсистем (автономные либо централизованные);

- обеспечение показателей надежности устройств подсистем, их технической живучести, в том числе структурной и функциональной;

- обеспечение показателей надежности технических средств подсистем;

- создание ресурсного обеспечения для подсистем в рамках МФСБ (запасные части, инструменты) [23].

Необходимо проведение оценки проектно-сметной документации, наличия акта обследования. На основании данных документов создавалась МФСБ. Необходимо наличие деклараций и сертификатов соответствия в системах

добровольной сертификации и сертификатов пожарной и взрывобезопасности [23].

Для функционирования МФСБ на угольной шахте необходимо наличие следующих документов:

- документов по авторскому надзору;
- гарантии изготовителя;
- даты окончания работ;
- актов о приемке МФСБ в эксплуатацию [23].

Организация технического обслуживания подсистем в рамках МФСБ необходима при наличии следующих факторов:

- износ технических средств;
- отсутствие должной квалификации у персонала;
- несоблюдение работниками норм и правил работ на производстве;
- нарушение трудовой дисциплины;
- уязвимость с точки зрения обеспечения безопасности технологических процессов [23].

Данные факторы необходимо учитывать при организации набора персонала, организациях инструктажей и обучения, определения форм контроля, ведении эксплуатационных работ и проведении анализа результатов технического обслуживания [4, 5].

Основные задачи технического обслуживания включают:

- определение пригодности технических средств в рамках подсистем МФСБ к дальнейшему использованию;
- контроль и диагностирование их технического состояния;
- обеспечение нормального функционирования технических средств и подсистем в рамках МФСБ;
- выявление неисправностей, отказов, повреждений и сбоев, их устранение;
- ликвидация последствий дестабилизирующих факторов;
- проведение профилактических работ, направленных на предотвращение негативного воздействия техногенных и антропогенных угроз;

- ведение журнала регистрации работ [23, 105, 112].

Эффективность технического обслуживания достигается на основе реализации следующих мероприятий:

- плановое проведение регламентных работ в соответствии с установленным графиком;

- рациональная организация труда;

- создание заинтересованности в качественном и производительном труде у персонала;

- анализ и обобщение сведений о результатах ранее выполненных работ по обслуживанию систем;

- разработка мероприятий по совершенствованию форм и методов выполняемых работ;

- соблюдение нормативной документации и представленный в ней требований;

- соблюдение правил безопасности при проведении регламентных работ;

- оперативное устранение повреждений;

- контроль качества выполняемых работ и их оперативности;

- обеспечение персонала спецодеждой, техническими материалами, специальной аппаратурой;

- профессиональная подготовка;

- наличие поверенной контрольно-измерительной аппаратуры;

- знание особенностей обслуживаемых технических средств, их характеристик [23, 105, 112].

### **3.2 Определение вероятности обрушения горных пород**

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 [4, 5].

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. [4, 5].

Каждая система характеризуется наличием показателя, определяющим устойчивость горного массива. Так, результатом измерений системы «Микон-ГЕО» является интегрированный критерий, включающий величины сейсмической энергии и градиента горного давления [5, 54, 55].

Для вычисления вероятности обрушения предлагается результаты измерений интегрировать в математическую модель, которая основана на критерии максимального правдоподобия [43, 73, 74].

С целью определения вероятности обрушения горных пород необходимо провести распределение значений показателя, определяющего устойчивость массива относительно его порогового значения (рисунок 3.3) [43, 74].

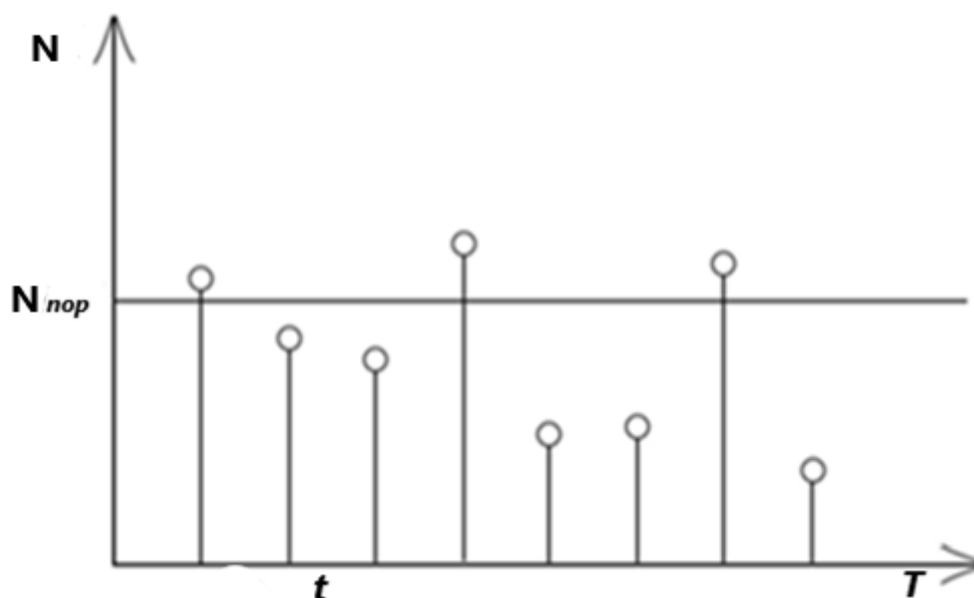


Рисунок 3.3 - Распределение значений показателя, определяющего устойчивость горного массива относительно порогового;  $N$  – показатель, определяющий устойчивость горного массива;  $N_{пор}$  – пороговое значение данного показателя;  $t$  – интервал измерения;  $T$  – период измерений [43]

Реализация математической модели осуществляется на основе следующих показателей: отношение правдоподобия значений показателя, определяющего устойчивость массива  $L$ , 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  $R_{\text{обр}}$  [43, 46, 73, 74].

Отношение правдоподобия подразумевает отношение вероятности получения положительного результата для положительного исхода к вероятности получения положительного результата для отрицательного исхода [43, 65].

Функция правдоподобия представляет собой совместное распределение выборки из данной совокупности, которое задано функцией зависимости получаемого результата и ряда факторов, воздействующих на него. В случае, когда вероятность дает возможность предположить искомый результат, который получается на основе анализа известных параметров, то при постановке обратной задачи появляется возможность оценки неизвестных элементов. Данная оценка производится с учетом известных результативных показателей [80, 81].

Плотность распределения вероятности представляет собой предел отношения вероятности попадания элемента в заданный интервал к величине этого интервала. Необходимым условием является неограниченное уменьшение данного интервала. Плотность распределения показывает, как часто оцениваемая величина появляется в заданной области [80, 81].

Математическая модель определения вероятности обрушения горных пород на основе критерия максимального правдоподобия имеет вид (формула 5) [46, 94, 109]:

$$R = \begin{cases} R_{\text{не обр}}, & \text{если } L \geq 1 \\ R_{\text{обр}}, & \text{если } L < 1 \end{cases} \quad (5)$$

В данной математической модели определяется отношение правдоподобия ( $L$ ) как отношение числа значений показателя, определяющего устойчивость

массива, выше порогового за период измерения ( $N_{ВП}$ ) к числу значений данного показателя ниже порогового за период измерения ( $N_{НП}$ ) (формула 6):

$$L = \frac{N_{ВП}}{N_{НП}} \quad (6)$$

Далее производится вычисление плотности распределения значений показателя, определяющего устойчивость массива, для вероятности обрушения горных пород ( $f^{обр}$ ) как отношение числа значений данного показателя ниже порогового значения за период измерения ( $N_{НП}$ ) к количеству его значений за весь период измерений ( $Q$ ) (формула 7):

$$f^{обр} = \frac{N_{НП}}{Q} \quad (7)$$

Вероятность того, что произойдет обрушение горных пород ( $R_{обр}$ ) вычисляется как произведение отношения правдоподобия ( $L$ ) и плотности распределения ( $f^{обр}$ ) значений данного показателя за период измерений (формула 8):

$$R_{обр} = L \cdot f^{обр} \quad (8)$$

### **3.3 Апробация математической модели определения вероятности обрушения горных пород на основе критерия максимального правдоподобия**

В рамках научного сотрудничества с ООО «СУЭК-Кузбасс» была проведена апробация математической модели на основе критерия максимального правдоподобия для конкретной угольной шахты.

В качестве МФСБ, направленной на контроль состояния горного массива для данной угольной шахты использовалась система типа «Микон-ГЕО». Показателем, определяющим устойчивость горного массива, для данной системы является интегрированный критерий. Пороговое значение интегрированного критерия в данном случае принимало значение, равное 8. Апробация математической модели проводилась для двух различных периодов измерений [4, 5].

В первом случае превышений порогового значения выявлено не было. Значения показателя, характеризующего устойчивость массива представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Количество значений показателя, характеризующего устойчивость массива критерия для первого периода измерений

Величина интегрированного критерия	1	2	3	4	5
Количество значений	28	60	49	31	24

Для данного состояния массива превышений пороговой величины выявлено не было. Как следствие, определение вероятности обрушения горных пород не проводилось, так его величина принимала значение равное 0.

Во втором случае были выявлены превышения порогового значения показателя, характеризующего устойчивость массива (таблица 3.2). На основании полученных результатов проводилось определение вероятности обрушения горных пород.

Таблица 3.2 - Количество значений показателя, характеризующего устойчивость массива для второго периода измерений

Величина интегрированного критерия	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Количество значений	31	26	25	24	38	29	7	7	5

Число превышений порогового значения показателя, определяющего устойчивость массива и число его значений ниже порогового за период измерения представлено в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Число значений показателя, определяющего устойчивость массива (интегрированного критерия) выше порогового и ниже порогового за период измерений

Число значений интегрированного критерия выше порогового	Число значений интегрированного критерия ниже порогового
19	173

В рамках определения вероятности обрушения горных пород проводилось определение отношения правдоподобия значений интегрированного критерия за период измерения (9):

$$L = \frac{N_{ВП}}{N_{НП}} = \frac{19}{173} = 0,11 \quad (9)$$

Плотность распределения значений интегрированного критерия для вероятности обрушения горных пород будет вычисляться по формуле 10:

$$f^{обр} = \frac{N_{НП}}{Q} = \frac{173}{192} = 0,9 \quad (10)$$

Вероятность обрушения горных пород будет вычисляться по формуле 11:

$$R_{обр} = L \cdot f^{обр} = 0,11 \cdot 0,9 = 0,099 = 9,9\% \quad (11)$$

В рамках проведенной апробации математической модели на основе критерия максимального правдоподобия установлена зависимость вероятности обрушения горных пород от величины показателя, характеризующего устойчивость горного массива (интегрированного критерия) (рисунок 3.4).

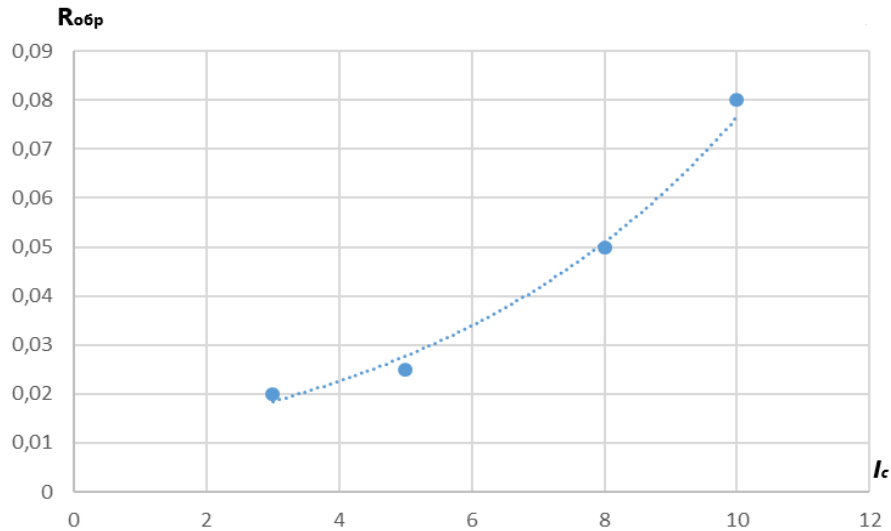


Рисунок 3.4 – Зависимость вероятности обрушения горных пород от величины интегрированного критерия;

где  $R_{обр}$  – вероятность обрушения горных пород,  $I_c$  – величина интегрированного критерия

Исходя из проведенной апробации модели установлено, что зависимость вероятности обрушения горных пород от величины интегрированного критерия носит экспоненциальный характер. Вместе с тем установление универсальной зависимости вероятности обрушения горных пород от величины показателя, определяющего устойчивость массива невозможно вследствие того, что данные показатели включают в себя различные параметры.

### 3.4 Выводы по главе 3

1. С целью предотвращения легкого, тяжелого и смертельного травматизма подземного персонала в результате воздействия опасных производственных факторов регламентировано оснащение угольных шахт многофункциональными системами безопасности согласно ГОСТ Р 58652-2019.

2. Оценка воздействия опасных производственных факторов проводится в рамках подсистем, входящих в состав МФСБ.

3. Применяемые для контроля состояния горного массива подсистемы, входящие в МФСБ, характеризуются наличием показателя, определяющего

устойчивость массива, для которого в рамках системы установлено пороговое значение.

4. Определение вероятности обрушения горных пород следует проводить на основе критерия максимального правдоподобия с учетом показателя, характеризующего устойчивость угольного массива, значения которого поступают от МФСБ.

5. В рамках научного сотрудничества с ООО «СУЭК-Кузбасс» проведена апробация математической модели на основе критерия максимального правдоподобия для двух периодов измерений для конкретной угольной шахты.

## ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ РИСКОМ ТРАВМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПЕРСОНАЛА УГОЛЬНЫХ ШАХТ ПРИ ОБРУШЕНИЯХ

### 4.1 Применение теоремы Байеса с целью определения предельных величин вероятности обрушения горных пород

С целью определения вероятности события в математической статистике, а также теории вероятности используется теорема Байеса, позволяющая найти искомую вероятность с учетом известной вероятности связанного с ним события. Важнейшей особенностью данной теоремы является особый подход к статистическому выводу [53, 92].

В рамках данной теоремы вероятность представляет собой степень уверенности в истинности конкретной гипотезы. Соотношение полученных результатов проводимого эксперимента с его различными исходами является частотной интерпретацией теоремы Байеса [53, 92].

При оценке рисков отличительной особенностью данной теоремы является простота обработки поступившей информации, наличие количественных и качественных показателей, наличие явных зависимостей между рассматриваемыми величинами (рисунок 4.1) [53, 92].

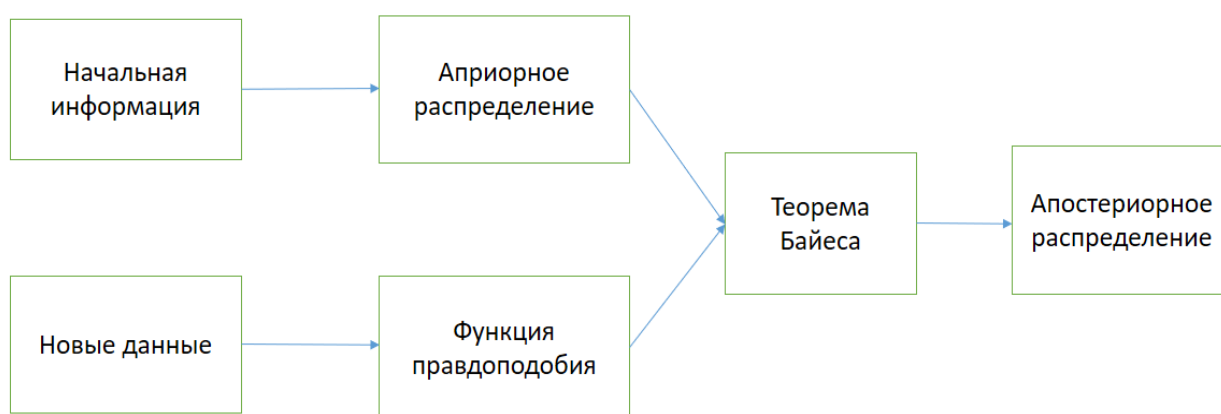


Рисунок 4.1 – Обработка получаемых данных в рамках теоремы Байеса [53]

Определение предельных величин вероятности обрушения горных пород предлагается проводить на основе преобразования теоремы Байеса. В качестве



двух взаимосвязанных событий в рамках данного исследования использовались несчастный случай на производстве и обрушение горных пород [44, 45, 76, 77].

Относительная простота вычислений, а также возможность компьютерной реализации делает использование теоремы Байеса актуальным направлением в вопросе оценки допустимых значений вероятности обрушения горных пород [44, 76, 77, 90].

В общем виде формула имеет следующий вид (формула 12):

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)} \quad (12)$$

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  $B$  [76, 77, 108, 110].

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 [76, 77, 108, 110].

Вводятся следующие обозначения:

$P(A)$  обозначим как  $R_i$ ;

$P(A|B) - A$ ;

$P(B) - R_{\text{обр}}$

$P(B|A) - B$ .

Следовательно, в целях определения предельных значений вероятности обрушения горных пород формула Байеса будет иметь следующий вид (формула 13):

$$R_{\text{обр } i} = \frac{B \cdot R_i}{A} \quad (13)$$

где  $R_{\text{обр } i}$  – предельные значение вероятности обрушения горных пород, при превышении которых возникают риски легкого, тяжелого либо смертельного травматизма;

$R_i$  – индивидуальный риск, средняя величина приемлемого риска в профессиональной сфере,  $2,5 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>;

$A$  – отношение числа легких, тяжелых либо смертельных несчастных случаев, отнесенных к среднесписочному числу сотрудников угольных шахт;

$B$  – отношения числа легких, тяжелых либо смертельных несчастных случаев, обусловленных обрушениями горных пород, к общему числу соответствующих несчастных случаев на угольных шахтах за данный период [43, 44].

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 [44, 47, 76, 77].

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 4.1).

Таблица 4.1 – 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

Пример расчета предельного значения вероятности обрушения горных пород, при превышении которого возникают риски легкого травматизма подземного персонала, представлен в формулах 14-16:

$$R_{\text{обр Л}} = \frac{0,18 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}}{8,4 \cdot 10^{-4}} = 0,05 = 5\% \quad (14)$$

- для риска тяжелого травматизма:

$$R_{\text{обр Т}} = \frac{0,11 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}}{2,5 \cdot 10^{-4}} = 0,11 = 11\% \quad (15)$$

- для риска смертельного травматизма:

$$R_{\text{обр С}} = \frac{0,38 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}}{7,6 \cdot 10^{-4}} = 0,13 = 13\% \quad (16)$$

Также, на основе теоремы Байеса установлена зависимость величины риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма  $R_i$  от вероятности обрушения горных пород  $R_{\text{обр } i}$  (рисунок 4.2).

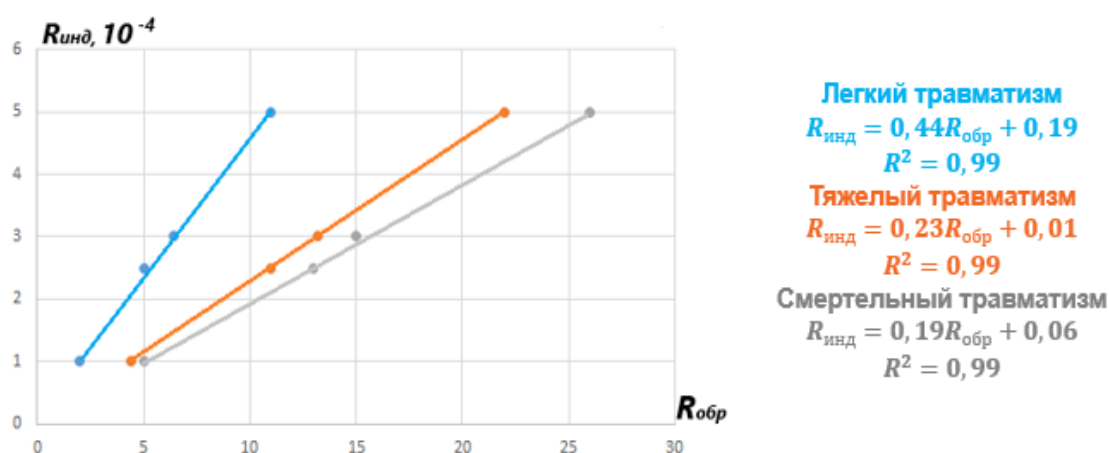


Рисунок 4.2 – Зависимость величины риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма от вероятности обрушения горных пород на угольных шахтах Кузбасса

Полученные предельные значения вероятности обрушения вводятся в алгоритм работы МФСБ и при их достижении вырабатывается предупредительный сигнал в целях оповещения о необходимости принятия решений, направленных на предотвращение несчастных случаев, обусловленных обрушениями горных пород на угольных шахтах.

## **4.2 Виды мероприятий, направленных на предотвращения травматизма подземного персонала угольных шахт в результате обрушений горных пород**

В целях управления величиной риска, обусловленного обрушениями горных пород на угольных шахтах, проводятся организационные и технические мероприятия. Применение данных мероприятий может осуществляться как отдельно, так и в комплексе [71, 99, 100].

Для вертикальных стволов технические мероприятия включают:

- бурение разгрузочных скважин;
- применение водозащитного тампонажа на участках трещиноватых пород;
- применение упрочняющего тампонажа на участках трещиноватых пород;
- контроль состояния крепи;
- контроль состояния армировки;
- использование конструктивной защиты крепи [71, 93]

Для наклонных стволов технические мероприятия включают:

- меры по защите крепи;
- применение анкерной крепи и упрочняющего тампонажа;
- разгрузка пород, окружающих ствол [71, 93].

Для очистных горных выработок технические мероприятия включают:

- упрочнение кровли;
- упрочнение секций крепи;
- обеспечение невозможности сползания почвы [71, 93].

В случаях необходимости укрепления пород используется тампонирование. Данный способ также применяется в целях улучшения условий работы крепи в сложных горно-геологических условиях [35, 99, 101].

Процесс тампонирования представляет собой процесс скрепления зерен в несвязных породах массива и применяется для повышения его устойчивости для

проведения в нем горных выработок. Для тампонажа скальных трещиноватых пород используются цементные, а также цементно-глинистые смеси. Растворы, включающие карбамидные смолы, используются при тампонировании несвязных песчаных пород [97, 101].

Применение чистой воды и хлористого кальция обусловлено необходимостью ускорения схватывания цементного раствора. Масса хлористого кальция не должна превышать 3% от общей массы раствора. Для повышения агрегатной устойчивости раствора необходимо использовать поверхностно-активные вещества (ПАВ) [97, 101].

Отличительной особенностью карбамидных смол является их низкая токсичность и высокая смешиваемость с водой. В целях затвердевания их растворов используются соляная, щавелевая и фосфорная кислоты. Период схватывания составляет порядка 45 минут и зависит от температуры пород, а также состава самого раствора [97, 101].

Процесс подачи раствора осуществляется через скважину. Угол скважины для вертикальных горных выработок составляет менее 10 градусов, а для горизонтальных 3-5 градусов. Скважины бурятся на глубину до 20 метров, их диаметр составляет до 150 миллиметров. Бурение производится через 1,5-2 метра. При этом, при цементации бурятся скважины большего размера, а при использовании химических смесей меньшего [97, 101].

Необходимым условием при цементации является создание бетонной перемычки, длина которой составляет до 5 метров. После укладки бетона в данную перемычку раствор подается спустя трое суток. Раствор подается с поверхности. В случае ведения цементации из забоя для бурения скважин применяется буровой станок [97, 101].

Одним из видов тампонирования является процесс замораживания, который осуществляется с использованием холодильных установок. Самыми распространенными холодильными установками являются аммиачные. Хладогент в данном случае выступает фреон. Охлаждение производится благодаря испарению хладогента в испарителе [16, 60, 101].

В качестве хладоносителя выступает раствор хлористого кальция, который циркулирует вокруг испарителя. Циркуляция происходит в специально установленных скважинах при наличии теплообмена с горными породами [16, 60].

Бурение скважин для замораживающих колонн производится буровыми станками. Скважины располагаются по дуге и по окружности выработки. В результате образуется ледогрунтовый свод. Бурение ведется из расширенной части выработки [16].

Установка скважин производится параллельно оси горной выработки. Длина скважин не должна превышать 15 метров. Длина всего участка замораживания составляет менее 50 метров. В случае превышения данной длины возможно отклонение направления скважины [16].

На первом этапе ведется активное замораживание, после чего наступает второй этап – проведение выработки обычным способом (рисунок 4.3). Замораживающая установка при ведении проходческих работ работает с той же мощностью в целях предотвращения оттаивания (пассивный режим работы установки) [16, 60].

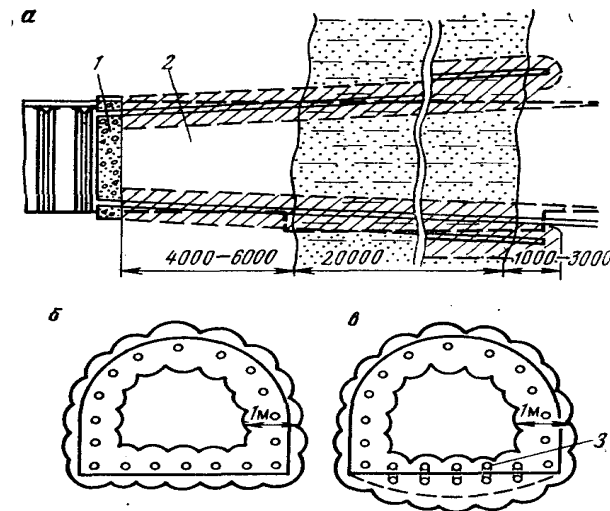


Рисунок 4.3 - Схема замораживания пород в горизонтальной выработке  
 а – расположение скважин по длине участка; б, в – расположение скважин в выработке соответственно без обратного и с обратным сводом; 1 – бетонная перемычка; 2 – барьерный целик; 3 – замораживающие скважины [16]

При возникновении аварий производится подача жидкого азота в замораживающие колонки. Температура жидкого азота составляет приблизительно минус 200 градусов [60, 89].

Забуривание разгрузочных скважин ведется по оси горной выработки непосредственно рядом со скважиной, которая бурится для прогноза выбросоопасности и для которой установлено минимальное значение по выбросоопасности. Диаметр данных скважин составляет от 80 до 250 миллиметров (рисунок 4.4) [97].

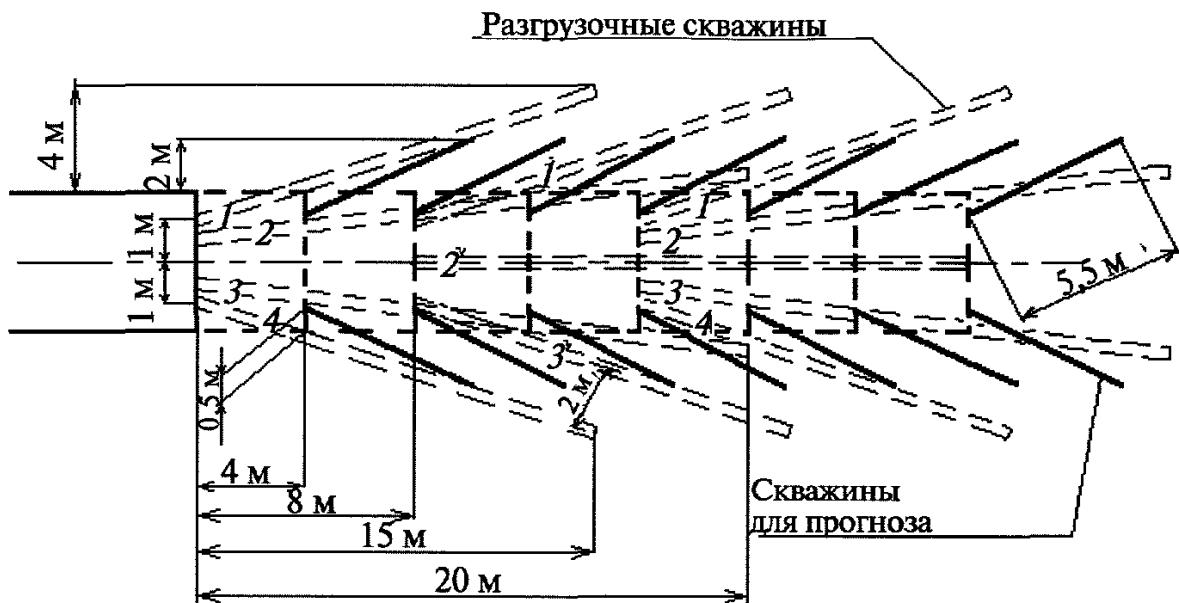


Рисунок 4.4 - Схема бурения разгрузочных скважин по пласту

1, 2, 3, 4 – разгрузочные скважины первого цикла; 1<sup>1</sup>, 2<sup>1</sup>, 3<sup>1</sup> - скважины второго цикла [97]

При бурении скважин с целью предотвращения газодинамической активности необходимо:

- организация остановок при бурении;
- не превышение предельной скорости бурения;
- бурение скважин с небольшим диаметром и последующее их разбуривание;
- использование защитного действия ранее пробуренных скважин при проведении разгрузочных скважин;

- для выбросоопасных пластов скорость бурения не должна превышать 0,5 м/мин.;
- предварительное увлажнение пласта [39].

При наличии выноса буровой мелочи из устья скважины необходимо экстренное прекращение бурения. Возможно его возобновление через 5 минут после прекращения выноса либо после остановки буровых работ в ближайшей скважине [51].

Диаметр разгрузочных скважин, которые бурятся в процессе бурения, составляет до 80 мм. При необходимости их разбуривания до большего диаметра производится их поэтапное расширение. На участке, где бурится первая разгрузочная скважина производится предварительное увлажнение угольного пласта [39, 97].

В случае, когда возникает необходимость бурения скважин диаметром более 80 мм, производится установка щита вплотную к забою выработки. Рамы щита закрепляются как с массивом, так и между собой. Также, для бурения скважин диаметром более 80 мм применяются установки с дистанционным включением [39, 97].

Разгрузочные скважины должны обеспечивать дегазацию и разгрузку угольного пласта по всему сечению выработки и не менее чем на 4 метра за ее контуром. Бурение производится на длину, обеспечивающую возможность опережения приведения пласта в невыбросоопасное состояние более чем на 5 метров [39].

Бурение разгрузочных скважин должно производиться в одной или нескольких плоскостях веером. Плоскости в которых бурятся данные скважины должны быть параллельны плоскости, в которой залегает угольный пласт [34, 52].

В соответствии с характером сдвижения пород и ее величиной выбираются конструктивные меры защиты крепи. В случае, когда присутствуют опасные вертикальные деформации необходимо принятие следующих мер для ее защиты:



- применение крепежа либо специальной конструкции крепи, которая способна не разрушаясь выдержать вертикальное упрочнение;
- заполнение малопрочным и податливым материалом горизонтальных осадочных швов;
- заполнение закрепленного пространства между крепью и породой сыпучим заполнителем в целях снижения трения, а также ослабление связей [3, 83].

В случаях, когда происходит уменьшение диаметра ствола, защита крепи обеспечивается:

- использование крепи, которая способна выдержать изменения в форме поперечного сечения выработки;
- заполнение закрепленного пространства сжимающимся или вязким материалом;
- использование вертикальных прокладок [3, 83].

Осуществление защиты крепи от среза в случаях, когда происходит сдвиг поперечных сечений выполняется за счет:

- заполнением пространства сжимающимся заполнителем;
- закреплением пространства вязким заполнителем [3, 83].

Необходимым условием контроля состояния крепи является проведение ее осмотра. Осмотр производится либо из сопряженных со стволом выработок, либо крыши подъемных сосудов. Осмотру подлежат все нарушения крепи и ее армировки [6, 12, 83].

Характеристиками, которые фиксируются при осмотре, являются:

- конструкция армировки крепи;
- внешний вид крепи;
- толщина крепи;
- размеры нарушений;
- характер нарушений;
- неравномерное распределение бетона;

- признаки выщелачивания;
- ошибки в размещении арматуры;
- наличие деформаций;
- следы износа расстрелов;
- обрушения крепи;
- изменения зазора между крепью и ее армировкой [3].

Результаты осмотра должны быть представлены в форме эскизов, описаний и развертки. Развертка должна быть сориентирована по направлениям на север, юг, запад и восток и должна совмещаться с геологическим разрезом горных пород. Также, развертка должна ориентироваться по отношению падения либо восстания горных пород при крутом падении [97].

Проводится установление и измерение радиальных и вертикальных деформаций. Кроме этого, устанавливаются искривления, смещения и срезы. Проводится инструментальный контроль состояния крепи и ее армировки с зазорами зазоров между ними [6, 12].

Наиболее надежным средством поддержания массива является установка анкерной крепи, обусловленное ее плотным контактом с массивом горных пород. Система анкеров крепи закрепляется в специально пробуренных шпурах (рисунок 4.5) [21].

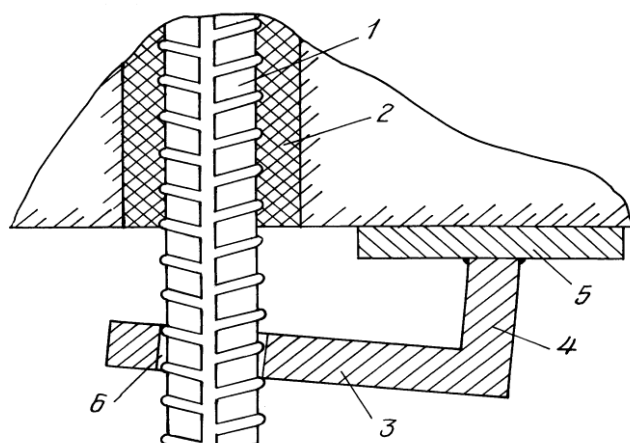


Рисунок 4.5 – Анкерная крепь

1 – штанга; 2 – цилиндрическая трубка; 3 – опорная плитка; 4 – отогнутая грань;  
5 – пластина; 6 – сквозное отверстие [21]

Как правило, анкерные крепи применяются при наличии неустойчивых горных пород, прочность на одноосное сжатие которые не превышает 29 Мпа. Сплошное закрепление анкеров возможно и для более крепких пород. В случаях, когда закрепление пород производится при помощи химического состава, его введение в скважину производится при помощи стержня, вращение которого производится перфоратором либо сверлом с подачей ко дну скважины [6, 21, 82].

Полиуретановые органоминеральные смолы, при помощи которых проводится стабилизация горного массива, используются для упрочнения кровли выработок. Предотвращение обрушения горного массива и образования куполов возможно благодаря предварительному нагнетанию смол [10, 36].

С целью упрочнения массива горных пород применяются также и канатные анкера. Их закрепление производится заполнением пробуренных шпуров смолой. Как правило, данный способ применяют для неустойчивых зон [21, 82].

Также, с целью упрочнения массива наиболее часто используется способ с бурением шпуров параллельными и поперечными рядами. В эти шпуры устанавливаются анкера и производится нагнетание закрепляющего раствора (рисунок 4.6) [12, 21].

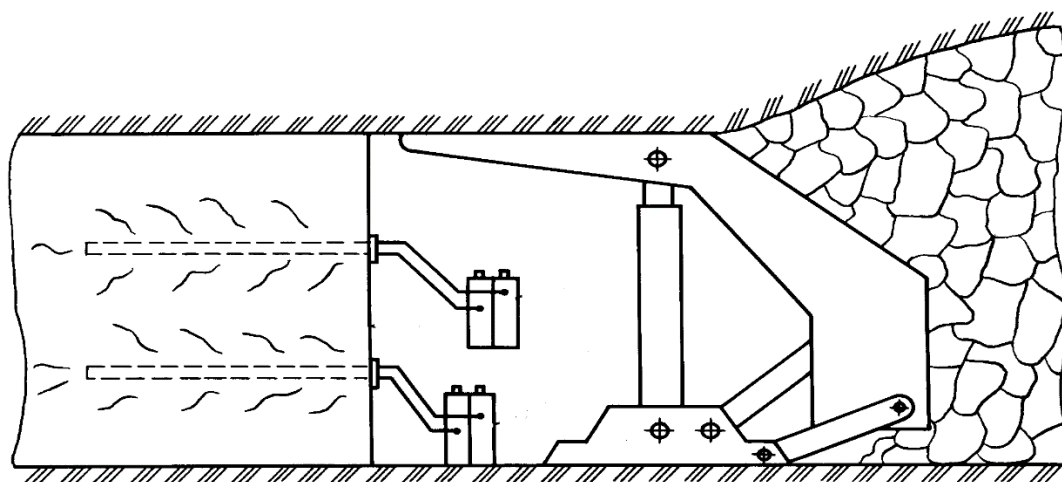


Рисунок 4.6 – Схема крепления кровли с использованием нагнетаемого раствора [21]

Одновременно производится подача раствора в несколько шпуров, что существенно сокращает затраты времени на упрочнение массива. Следовательно,

данный способ рационально использовать для неустойчивой кровли и груди забоя [21].

### **4.3 Использование разработанной программы для ЭВМ в целях повышения безопасности труда подземного персонала угольных шахт при обрушении горных пород**

Программа для ЭВМ «Программа для оценки индивидуального риска смертельного травмирования работников угольных шахт в результате обрушения горных пород» разработана для служб охраны труда угольных шахт с целью предотвращения травматизма работников угольных предприятий в результате обрушений. С ее помощью возможно определить вероятность обрушения горных пород с учетом поступающей от МЧСБ информации. Далее определяется индивидуальный риск травматизма вследствие обрушения горных пород (Приложение Б) [70].

В данной программе для ЭВМ отражена разработанная математическая модель на основе критерия максимального правдоподобия, позволяющая определить вероятность обрушения горных пород. На основе теоремы Байеса находится индивидуальный риск [70].

Помимо использования службами охраны труда на угольных шахтах, данная программа может использоваться и для подготовки студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Технологическая безопасность и горноспасательное дело» [70].

Языком программирования разработанной программы является MATLAB. Объем программы составляет 4 КБ [70].

### **4.4 Выводы по главе 4**

1. Определение предельных значений вероятности обрушения горных пород для риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма проводится на основе теоремы Байеса.

2. Предельные значения вероятности обрушения горных пород для риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма на угольных шахтах Кузнецкого угольного бассейна составляют соответственно 5, 11 и 13%.

3. Предельные значения вероятностей обрушения горных пород вводятся в алгоритм работы МФСБ и при их достижении система вырабатывает сигнал с целью оповещения о необходимости проведения организационно-технических мероприятий, направленных на предотвращение обрушений.

4. Установлена линейная зависимость величины индивидуального риска легкого, тяжелого и смертельного травматизма от вероятности обрушения горных пород.

5. В целях предотвращения случаев травматизма подземного персонала угольных шахт в результате обрушений горных пород разработана программа для ЭВМ, которая может быть использована службами охраны труда на предприятиях, ведущих добычу угля подземным способом.

## 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов, А.Г. Влияние естественной напряженности массива на параметры и величины сдвижений и деформаций горных пород / А.Г. Акимов, С.Н. Зеленцов, В.М. Тяпин // Горное давление, горные удары и сдвигение массива: сб. науч. тр. ВНИМИ. – СПб., 1996. – С. 3-8.
2. Акимов, А.Г. Геомеханические аспекты сдвижения горных пород при подземной разработке угольных и рудных месторождений / А.Г. Акимов –СПб.: ВНИМИ, 2003. – 166 с.
3. Александров, Б.А. Особенности взаимодействия механизированных крепей поддерживающего типа с кровлей / Б.А. Александров, Г.Д. Буялич, Ю.М. Леконцев, А.С. Фролов // Вопросы горного давления: сб. науч. тр. / Инт горн, дела СО АН СССР. – Новосибирск. – 1988. – № 46. – С. 67-70.
4. Бабенко, А. Г. О требованиях к функциональной безопасности систем автоматической газовой защиты угольных шахт / А. Г. Бабенко, П. А. Малыгин // Изв. вузов. Горный журнал. – 2011. – № 1. – С. 100-110.
5. Бабенко, А. Г. Основы построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт / А. Г. Бабенко, С. Э. Лапин // Сборник тезисов докладов III Междунар. научно-практич. конференции «ТЕХГОРМЕТ – 21 ВЕК» «Современные технологии управления процессами добычи и переработки полезных ископаемых». 15-16 октября 2012 г. – СПб.: изд-во Нац. минерально-сырьевого университета «Горный». – С. 36-38.
6. Бабырь, Н. В. Повышение адаптивности механизированной секции крепи к медленно изменяемому горному давлению / Н.В. Бабырь, Д.А. Задков // XIV Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Екатеринбург. – 2016. – С. 18-21.
7. Баловцев, С.В. Управление производственными рисками на угольных шахтах на основе ранжирования требований безопасности / С.В. Баловцев, 137 О.В. Воробьева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 12. – С. 15-20.



8. Баскаков, В.П. Оценка рисков аварий, инцидентов и несчастных случаев. Планы управления безопасностью труда / В.П. Баскаков, В.И. Ефимов, Г.И. Сенаторов // Известия ТулГУ. Науки о земле. – 2011. – Вып. 1. – С. 22-35.
9. Батугин, С.А. Анизотропия массива горных пород / Батугин, С.А. – Новосибирск: Наука. Сибирское отд., 1988. – 82 с.
10. Белодедов, А.А. Анализ механизма образования деформаций земной поверхности над горными выработками закрытых шахт / Белодедов А.А., Должиков П.Н., Легостаев. С.О. // Известия ТулГУ. Науки о земле. – 2017. – С. 160- 168.
11. Борщ-Компониец, В.М. Оценка влияния трещиноватости на устойчивость массивов горных пород / В.М. Борщ-Компониец, Б.А. Крайнев, А.П. Логинский, А.Б. Макаров, Н.А. Мусаев // Горный журнал. – 1960. – № 10. – С. 42-44.
12. Буялич, Г. Д. Экспериментально-теоретическая оценка и обоснование параметров механизированных крепей для сложных горно-геологических условий пологих угольных пластов. - Кемерово, 2004. – 500 с.
13. Бычков, С.Б. Крупномасштабные обвалы как геофизический процесс горного удара или внезапного выброса пород и газа / С.Б. Бычков // Вестник научного центра безопасности ведения горных работ в угольной промышленности. – 2020. – № 2. – С. 83-91.
14. Вишняков, Я.Д. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – М.: Академия, 2008. – 368 с.
15. Воробьев, Б.М. Уголь мира. Том III. Уголь Евразии / Б.М. Воробьев. – М.: Горная книга, 2013. – 752 с.
16. Вялов, С. С. Расчеты на прочность и ползучесть при искусственном замораживании грунтов / С. С. Вялов, Ю. К. Зарецкий, С. Э. Городецкий. — Л.: Стройиздат, 1981. — 199 с.
17. Габов, В. В. Испытание блока безимпульсного регулирования сопротивления гидростоек секции механизированной крепи опусканию пород кровли / В.В. Габов, Н.В. Бабырь, А.В. Стебнев, С.Г. Мухортиков// Специальный

выпуск ГИАБ по материалам научно-практической конференции «Подземная угледобыча XXI века». – 2018. – С. 21-27.

18. Геологический отчет с подсчетом запасов каменного угля в границах участка Магистральный и «Красноярский» Егозово-Красноярского каменноугольного месторождения Кузбасса (лицензии КЕМ 15462 ТЭ и КЕМ 01340 ТЭ) / ОАО «Кузбассгипрошахт». – Кемерово, 2016.

19. Глушихин, Ф. П. Трудноуправляемые кровли в очистных забоях / Ф. П. Глушихин. - М.: Недра. – 1974. – 193 с.

20. Годовой отчет «Годовой отчет о результатах деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору» / Сибирское управление федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору: Кемерово, 2016-2019.

21. Горбачев, Г.Ф. Применение анкерной крепи в подготовительных выработках / Г.Ф. Горбачев, Г.Г. Штумпф, Б.И. Стрыгин // «Наука», Новосибирск, - 1972. - С. 295.

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

23. ГОСТ Р 55154-2019. Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Принципы обеспечения промышленной безопасности. - М.: Стандартинформ. – 2019. – С. 28.

24. Гражданкин, А.И. Анализ опасностей и оценка риска крупных аварий в нефтегазовой и угольной промышленности: Дис. ... докт. техн. наук: 05.26.03 / Гражданкин Александр Иванович. – М., 2016. – 340 с.

25. Гражданкин, А.И. О риск-ориентированном подходе в обеспечении промышленной безопасности [Электронный ресурс] / А.И. Гражданкин // Анализ опасностей и оценка техногенного риска. – URL: [http://riskprom.ru/TemaKtlg/RiskAvar/pon\\_oprd/RiskOrient\\_2012.pdf](http://riskprom.ru/TemaKtlg/RiskAvar/pon_oprd/RiskOrient_2012.pdf)

26. Группа месторождений твердых полезных ископаемых по сложности геологического строения ГКЗ [Электронный ресурс] / МПР РФ, 1988. URL: <https://infopedia.su/4x469c.html>.

27. Гусев, В.Н. Прогноз образования провалов при развитии процесса сдвижения на шахтных полях с большой мощностью покровных отложений (наносов) / В.Н. Гусев, Ю.И. Кутепов, Е.Б. Боргер, Ю.Ю. Кутепов // Маркшейдерский вестник. – 2019. – № 1 (128). – С. 16-23.

28. Доклад министра энергетики РФ А.В. Новака «О состоянии и перспективах развития угольной промышленности» [Электронный ресурс] / Министерство энергетики. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/4882>

29. Дрыгин, М.Ю. Оценка перспектив добычи угля в Кузбассе / М.Ю. Дрыгин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. - №2. – С. 87-96.

30. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс] / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – URL: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/)

31. Ефремов, И.В. Надежность технических систем и техногенный риск / И.В. Ефремов, Н.Н. Рахимова. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 163 с.

32. Зеленцов, С.Н. Изучение провалов и механизма их образования на подрабатываемой земной поверхности шахты им. А.Д. Рубана / С.Н. Зеленцов, Ю.Ю. Кутепов, Е.Б. Боргер // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 5. – С. 271-280.

33. Зеленцов, С.Н. Определение допустимых размеров выработанного пространства по падению при неполной подработке земной поверхности / С.Н. Зеленцов, Ю.А. Сосунов // Маркшейдерский вестник. – 2000. – № 3. – С. 16–20.

34. Иктисанов, В.А. Методы расчета продуктивности и интерпретации КВД для скважин сложной архитектуры / В. А. Иктисанов // Российская нефтегазовая техническая конференция и выставка, 26-28 окт. 2010 г.

35. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях / Мин-во угольной пром-сти СССР: Утв. 30.12.87. Разраб. ВНИМИ. Состав.: И.А. Петухов, Н.И. Митичкина, В.Н. Земисев и др. – 97 с.

36. Иофис, М.А. Инженерная геомеханика при подземных разработках / М.А. Иофис, А.И. Шмелев. – М.: Недра, 1985. – 248 с.

37. Кабанов, Е.И. Оценка риска взрывов метана на угольных шахтах России / Е.И. Кабанов // Международный форум-конкурс молодых ученых «Проблемы недропользования», Санкт-Петербург, 19-21 апреля 2017 г.: Сборник научных 140 трудов. Часть II / Санкт-Петербургский горный университет. – СПб., – 2017. – С. 31.

38. Казанин, О.И. Анализ причин провалов земной поверхности при отработке угольного пласта Байкаимский на шахте «Красноярская» ОАО «СУЭККузбасс» / О.И. Казанин, М.Г. Мустафин, А.А. Мешков // Горный информационноаналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 4. – С. 257- 261.

39. Калинин, А.Г. Бурение наклонных и горизонтальных скважин / А. Г. Калинин [и др.]. - Москва: Недра, 1997. - С.127-160.

40. Качурин, Н.М. Ретроспективная оценка уровня безопасности подземной добычи угля на шахтах Подмосковного бассейна / Н.М. Качурин, Г.В. Стась, Д.Н. Шкуратский, Е.В. Смирнова // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2014. – Вып. 2. – С. 58-66.

41. Килимник, В.Г. Основные результаты реструктуризации угольной отрасли России / В.Г. Килимник // Горная промышленность. – 2003. – № 1. – С. 2-6.

42. Кирин, Б.Ф. Защита в чрезвычайных ситуациях / Б.Ф. Кирин, Н.О. Каледина, Г.И. Слепцов. – М.: Изд-во. МГГУ, 2004. – 285 с.

43. **Кольвах, К.А.** Оценка величины индивидуального риска и риска группового несчастного случая работников угольных шахт при обрушении горных пород / **К.А. Кольвах** // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2021. - № 2. – С. 63-67.

44. **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.

45. **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.

46. **Кольвах, К.А.** Применение теоремы Байеса для оценки величины индивидуального риска, обусловленного обрушениями горных пород, на угольных шахтах / **К.А. Кольвах** // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2020. - № 1. – С. 77-81.

47. Концепция приемлемого риска [Электронный ресурс] / МЧС России. – URL: <http://www.mchs.gov.ru/dop/terms/item/87812/>

48. Коршунов, В.А. Разработка метода определения показателей прочности идеформируемости трещиноватых горных пород применительно к расчетам проявлений горного давления на больших глубинах, дис. на соискание ученой степени к.т.н., ВНИМИ, 1990.

49. Коршунов, Г.И. Исследование факторов риска взрывов метана и пыли в угольных шахтах на основе анализа статистических данных / Г.И. Коршунов, Е.И. Кабанов // Международная научно-практическая конференция «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование», Санкт-Петербург, 18-20 октября 2017 г.: Сборник тезисов / Санкт-Петербургский горный университет. – СПб., – 2017. – С. 104-105.

50. Коршунов, Г.И. Разработка методики оценки рисков аварий на угольных шахтах с учетом конкретных горно-геологических условий / Г.И. Коршунов, О.И. Казанин, М.Л. Рудаков, А.О. Недосекин, Е.И. Кабанов // Горный информационноаналитический бюллетень. – 2017. – № 4. – С. 374-383.

51. Костогрызов, А.И. Основы противоаварийной устойчивости угольных предприятий / А.И. Костогрызов, В.Н. Костеренко, А.Н. Тимченко, В.Б. Артемьев. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2014. – 336 с.

52. Кудряшов, Б.Б. Бурение скважин в мерзлых породах / Б.Б. Кудряшов, А.М. Яковлев // М.: Недра, 1983.
53. Кужомбердиева, Г.И. Использование формулы Байеса при оценивании выполнения практик модели СММІ / Г.И. Кужомбердиева, Д.П. Бураков, М.И. Гарина // Программные продукты и системы. – 2017. Т. 30. - № 1. – С. 17-23.
54. Лапин, С.Э. Методика и результаты промышленного применения системы сейсмического контроля состояния горного массива «Микон-ГЕО» в процессе подземной разработки рудных и угольных месторождений / С.Э. Лапин, В.Б. Писецкий, А.Э. Зудилин, Ю.В. Патрушев, И.В. Шнайдер // Проблемы недропользования. – 2016. - № 2. – С. 58-64.
55. Лапин, Э. С. «Микон-ГЕО» — система оперативного обнаружения и контроля состояния зон развития опасных геогазодинамических явлений при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом / Э. С. Лапин, В. Б. Писецкий, А. Г. Бабенко, Ю. В. Патрушев // Безопасность труда в промышленности. 2012. - №4. – С. 18–22.
56. Лисанов, М.В. О техническом регулировании и критериях приемлемого риска / М.В. Лисанов // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 5. – С. 11-14.
57. Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах: рук. по безопасности. – Сер. 27. – Вып. 16. – М.: ЗАО «НТЦ ПБ», 2017. – 56 с.
58. Методические рекомендации по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на угольных шахтах: рук. по безопасности. – Сер. 05. – Вып. 52. – М.: ЗАО «НТЦ ПБ», 2017. – 36 с.
59. Мешков, А.А. Обоснование параметров технологии интенсивной отработки пологих пластов с сохранением земной поверхности в условиях шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс» / А.А. Мешков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S2. – С. 58.

60. Насонов, И. Д. Исследование параметров замораживания при проведении горизонтальных выработок / И. Д. Насонов, М. Н. Шуплик, В. И. Ресин. — Москва: Недра, 1980. — 247 с.

61. О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 17.08.2016 №806 [Электронный ресурс] / Техэксперт. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/420372694>

62. Об утверждении Программы развития угольной промышленности России на период до 2030 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 июня 2014 г. № 1099-р [Электронный ресурс] / Техэксперт. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/420204008>

63. Об утверждении Типового положения о системе управления охраной труда: Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 19 августа 2016 г. № 438н [Электронный ресурс] / Техэксперт. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/420376480>

64. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности в угольных шахтах": Приказ Ростехнадзора от 19 ноября 2013 г. № 550 (с изм. на 08 августа 2017 г.) [Электронный ресурс] / Техэксперт. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/499060050>

65. Осташев, В.В. Применение нечеткой логики при анализе и синтезе сложных систем / В.В. Осташев // Вестник ПГПУ. Серия: Естественные и физико-математические науки. — 2007. — № 2. — С. 74-78. 88.

66. Павлова, Л.Д. Моделирование циклического характера обрушения горных пород при проведении выработки с последовательным накоплением повреждений / Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Известия Томского политехнического университета. — 2004. — Т. 307. - № 2. С. 76-79.

67. Перечень типовых нарушений обязательных требований в сфере компетенции Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс] / Охрана труда в России. — URL:

<https://ohranatruda.ru/upload/medialibrary/985/Perechen-tipovykh-narusheniyobyazatelnykh-trebovaniy-v-sfere-kompetentsii-Rostekhnadzora.pdf>

68. Писаренко, М.В. Угольная промышленность России в долгосрочной перспективе / М.В. Писаренко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 7. – С. 69-75.

69. Попов, А.Н. Риск-ориентированный подход в промышленной безопасности / А.Н. Попов, Н.С. Ивашова, А.А. Деулин и др. // Промышленная и экологическая безопасность, охрана труда. – 2015. – № 2 (99). – С. 20-22.

70. 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.

71. Протосеня, А.Г. Геомеханика: учебное пособие / А. Г. Протосеня, О. В. Тимофеев – СПб.: Санкт-Петербургский Государственный Горный ин-т, 2008. – 117 с.

72. Рубанов, В.Г. Интеллектуальные системы автоматического управления. Нечеткое управление в технических системах: учеб. пособие / В.Г. Рубанов, А.Г. Филатов. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2010. – 170 с.

73. 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.

74. 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.



75. Рудаков, М.Л. Оценка и управление рисками в современных системах управления охраной труда в организации / М.Л. Рудаков. – СПб.: Свое издательство, 2014. – 90 с.

76. 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.

77. 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.

78. Рыков, А.М. Риск-ориентированный подход в обеспечении безопасности угольных шахт / А.М. Рыков, Ли Хи Ун, Ю.М. Филатов // Научнотехнический журнал «Вестник». – 2016 – № 1. – С. 73-76.

79. Сибикина, И.В. Анализ рисков информационной безопасности с использованием системы нечеткого вывода / И.В. Сибикина // Научный вестник НГТУ. – 2016. - № 4. – С. 121-134.

80. Симахин, В.А. Взвешенный метод максимального правдоподобия // Кибернетика и высокие технологии XXI века: Материалы IX международной научно-практической конференции. – Воронеж. – 2008. – Т. 2. – С. 661-672.

81. Симахин, В.А. Исследование оценок взвешенного метода максимального правдоподобия / В.А. Симахин, О.С. Черепанов // Вестник КГУ. – 2011. - № 1. – С. 72-76.

82. Скуба, В.Н. Область эффективного применения анкерной крепи в горных выработках угольных пластов Норильска / В.Н. Скуба, А.Ф. Чеботаев // Проектирование и строительство угольных предприятий. – 1966. - №12. С. 13—18.

83. Современные математические методы прогноза условий поддержания и крепления горных выработок / С.А. Игнатьев, А.Е. Сударииков, А.Ж. Имашев // Записки горного института. 2019. - Т.238. - С.371-375.
84. Стариков, А.В. Методика оценки профессионального риска в нефтегазовой отрасли как инструмент промышленной безопасности / А.В. Стариков, У.А. Хесткова // Проблемы современной науки и образования. – 2015. – № 9 (39). – С. 62-65.
85. Старокожева, Г.И Угольный сырьевой потенциал Восточного Донбасс / Г.И. Старокожева, О.Е. Файдов, В.И. Седлецкий // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. – 2004. - № 3. С. 105-114.
86. Стась, Г.В. Оценка риска возникновения аварий при добыче бурых углей / Г.В. Стась, Л.Э. Шейнкман, Е.В. Смирнова // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2015. – Вып. 3. – С. 31-41.
87. Статистический сборник ТЭК России – 2016: Выпуск июнь 2017 [Электронный ресурс] / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. – URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/13691.pdf>
88. Тарзанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2016 года / И.Г. Тарзанов // Уголь. – 2017. – № 3. – С. 36-50.
89. Твердов, А.А. Тенденции повышения безопасности на угольных шахтах с особо опасными горно-геологическими условиями / А.А. Твердов, С.Б. Никишичев, А.Б. Яновский, А.И. Скрыль // Уголь. – 2017. – № 3. – 4-9.
90. Тимошина, А.С. Байесовский подход при принятии управленческих решений в экономике / А.С. Тимошина // Аллея науки. – 2018. - № 6. – С. 373-376.
91. Трудовой кодекс Российской Федерации (с изм. и доп. на 05 февраля 2018 г.) [Электронный ресурс] / Техэксперт. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901807664>
92. Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Байесовские сети: логико-вероятностный подход. – СПб: Наука, 2006. – 608 с.

93. Фисенко, Г.Л. Прочностные характеристики массива горных пород / Г.Л. Фисенко // Механика горных пород и маркшейдерское дело. – М.: Углетехиздат, 1959. – С. 91-100.
94. Фомин, Я.А. Статистическая теория распознавания образов / Я.А. Фомин, Г.Р. Тарловский // М., «Радио и связь». – 1977. – 138 с.
95. Форсюк, А.А. Состояние промышленной безопасности на угольных шахтах РФ / А.А. Форсюк, С.С. Кобылкин // Горный информационноаналитический бюллетень. – 2009. – № 12. – С. 23-26.
96. Шевченко, Л.А. Оценка условий труда и риска производственного травматизма на опасных производственных объектах / Л.А. Шевченко, Е.А. Замигулова, Н.С. Михайлова и др. // Международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах», Кемерово, 22-23 ноября 2017 г.: сборник материалов / Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева. – Кемерово, 2017. – С. 224-231.
97. [Электронный ресурс] / <https://ukkbcl.ru/content/articles/index.php?article=1925>
98. [Электронный ресурс] / Ростехнадзор. – <http://usib.gosnadzor.ru/info/>
99. Ягунов, А.С. Динамика деформаций в подрабатываемом горном массиве / А.С. Ягунов. – Кемерово, Кузбассвузиздат., 2010. – 240 с.
100. Ягунов, А.С. Закономерности сдвижения горных пород в Кузбассе / А.С. Ягунов. – СПб: ВНИМИ, 2000. – 206 с.
101. Яковлев, А.А. Газожидкостные промывочные и тампонажные смеси / А.А. Яковлев // Комплексная технология бурения и крепления скважин. – Санкт-Петербург, 2000.
102. Burgess-Limerick, R. Bow-tie Analysis of a Fatal Underground Coal Mine Collision / R. Burgess-Limerick, T. Horberry, L. Steiner // Ergonomics Australia, - 2014. – Vol. 10. – P. 10-15.
103. Kissel, F.N. Methods for Controlling Explosion Risk at Coal Mine Working Faces / F.N. Kissel, J.C. Tien, E.D. Thimons // Proceedings of the

International Conference of Safety in Mines Research Institutes. – 2007. Vol. 32. P. 161-168.

104. Kologrivko, A.A. Decrease in geocological consequences by underground mining of potash fields / A.A. Kologrivko // Herald of Polotsk State University. Series F: Civil Engineering. Applied. – 2014. – No. 16. – pp. 101-110.

105. Kumar, R Mines Systems Safety Improvement Using an Integrated Event Tree and Fault Tree Analysis / R. Kumar, A.K. Ghosh // Journal of The Institution of Engineers (India): Serues D. – 2017. – Vol. 98. – P. 101-108.

106. Pejic, L.A. A New Simple Methodology for Evaluation of Explosion Risk in Underground Coal Mines / L.A. Pejic, J.G. Torrent, E. Querol, K. Lebecki // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2013. – № 26. – P. 1524-1529.

107. Risk Management Guidelnes: Standards Australia AS/NZS 4360:2004 [Электронный ресурс] / University of California. – URL: [https://www.ucop.edu/enterprise-risk-management/\\_files/as\\_stdrrs4360\\_2004.pdf](https://www.ucop.edu/enterprise-risk-management/_files/as_stdrrs4360_2004.pdf)

108. 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

109. Rudakov, M.L. Assessment of individual risk of fatal injury to coal mine workers during collapses / M.L. Rudakov, E.N. Rabota, **K.A. Kolvakh** // Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychnoho Universytetu. – 2020. №4. – P. 88 – 93.

110. 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.

111. Shariati, S. Underground Mine Risk Assessment by Using FMEA in the Presence of Uncertainty / S. Shariati // Decision Science Letters. – 2014. – № 3. – P. 295–304/

112. Zadeh, L. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes / IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1973. – Vol. SMC-3 Issue 1. – P. 28 – 44.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ГОСТ Р 55154-2019 «Оборудование горно-шахтное.

Многофункциональные системы безопасности угольных шахт»

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р  
55154—  
2019

**Оборудование горно-шахтное**

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ  
БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

**Общие технические требования**

Издание официальное



Москва  
Стандартинформ  
2019

---

Оборудование горно-шахтное

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ  
УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

**Общие технические требования**

Mining equipment. Multifunctional safety systems of the coal mines.  
General technical requirements

---

Дата введения — 2020—08—01

## 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на многофункциональные системы безопасности угольных шахт (далее — МФСБ).

Настоящий стандарт устанавливает назначение, общие принципы и технические требования по проектированию, построению и применению МФСБ.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 2.601 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы

ГОСТ 2.610 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов

ГОСТ 8.586.1 (ИСО 5167-1:2003) Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования

ГОСТ 8.586.4 (ИСО 5167-4:2003) Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 4. Трубы Вентури. Технические требования

ГОСТ 12.1.004 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.010 Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.019 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

ГОСТ 12.2.003 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.2.007.0 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.2.091 (IEC 61010-1:2001) Безопасность электрического оборудования для измерения, управления и лабораторного применения. Часть 1. Общие требования

ГОСТ 24.104 Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования

ГОСТ 27.003 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности

---

## ГОСТ Р 55154—2019

- ГОСТ 27.301 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения
- ГОСТ 34.003 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения
- ГОСТ 14254 (IEC 60529:2013) Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)
- ГОСТ 15150 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды
- ГОСТ 15543.1 Изделия электротехнические и другие технические изделия. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам
- ГОСТ 17516.1 Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам
- ГОСТ 22315 Средства агрегатные информационно-измерительных систем. Общие положения
- ГОСТ 22316 Средства агрегатные информационно-измерительных систем. Общие требования к организации взаимодействия средств при построении систем
- ГОСТ 23611 Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Термины и определения
- ГОСТ 31610.0 (IEC 60079-0:2004) Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред. Часть 0. Общие требования
- ГОСТ IEC 61140 Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования
- ГОСТ Р 8.563 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений
- ГОСТ Р 27.403 Надежность в технике. Планы испытаний для контроля вероятности безотказной работы
- ГОСТ Р МЭК 870-1-1 Устройства и системы телемеханики. Часть 1. Основные положения. Раздел 1. Общие принципы
- ГОСТ Р ИСО 10006 Системы менеджмента качества. Руководство по менеджменту качества при проектировании
- ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил менеджмента информационной безопасности
- ГОСТ Р 50922 Защита информации. Основные термины и определения
- ГОСТ Р 51188 Защита информации. Испытания программных средств на наличие компьютерных вирусов. Типовое руководство
- ГОСТ Р 51275 Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информатизацию. Общие положения
- ГОСТ Р 51897/Руководство ИСО 73:2009 Менеджмент риска. Термины и определения
- ГОСТ Р 51901.1 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем
- ГОСТ Р 53113.1 Информационная технология. Защита информационных технологий и автоматизированных систем от угроз информационной безопасности, реализуемых с использованием скрытых каналов. Часть 1. Общие положения
- ГОСТ Р 53114 Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения
- ГОСТ Р 53323 Огнепреградители и искрогасители. Общие технические требования. Методы испытаний
- ГОСТ Р 53704 Системы безопасности комплексные и интегрированные. Общие технические требования
- ГОСТ Р 54977 Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Термины и определения
- ГОСТ Р 56141 Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Системы взрывозащиты горных выработок. Общие технические требования
- ГОСТ Р 57052 Оборудование горно-шахтное. Автоматические установки пожаротушения (для подземных выработок). Общие технические требования и методы испытаний
- ГОСТ Р 57193 Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем



**Примечание** — При использовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

### 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 54977, а также следующие термины с соответствующими определениями:

#### 3.1

**вероятный ущерб:** Интегральная величина, учитывающая величину ущерба и вероятность его возникновения.

[ГОСТ Р 22.10.01—2001, статья 2.2.1.8]

**3.2 комплексная защита объекта:** Совокупность взаимосвязанных по времени, ресурсам и месту проведения мероприятий, направленных на защиту шахты, персонала и оборудования от нормированных угроз техногенного и природного характера.

**3.3 коэффициент готовности многофункциональной системы безопасности:** Отношение суммарного времени пребывания наблюдаемых подсистем многофункциональной системы безопасности в работоспособном состоянии к продолжительности эксплуатации, за исключением простоев на проведение плановых ремонтов и технического обслуживания.

**3.4 коэффициент оперативной готовности:** Произведение коэффициента готовности на вероятность безотказной работы многофункциональной системы безопасности шахты в течение необходимого времени при предаварийном, аварийном или послеваварийном режимах работы шахты.

**3.5 оценка соответствия многофункциональной системы безопасности:** Прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к многофункциональной системе безопасности.

**3.6 подтверждение соответствия многофункциональной системы безопасности:** Комплексная проверка соответствия многофункциональной системы безопасности установленным требованиям по обеспечению промышленной безопасности.

**3.7 рудничное исполнение:** Устройство, электрооборудование, изготовленное с уровнем взрывозащиты, определяемым условиями эксплуатации.

**3.8 техническое освидетельствование:** Экспертиза технических объектов специалистами (комиссией), представляющими(ей) государственные надзорные органы или имеющими(ей) государственную лицензию на право проведения или участия в экспертизах подобного рода.

**3.9 уровни доступа:** Определенный комплекс операций в системе, доступный для выполнения пользователем.

**3.10 форма подтверждения соответствия многофункциональной системы безопасности:** Установленный порядок документального оформления соответствия многофункциональной системы безопасности предъявляемым требованиям.

**3.11 экспертное обследование:** Экспертиза, выполняемая компетентными специалистами с целью проверки соответствия объекта экспертизы определенным установленным требованиям.

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ВМП — вентиляторы местного проветривания;

ИТР — инженерно-технические работники;

МЧС России — Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий;

МФСБ — многофункциональная система безопасности угольной шахты;

ПЛА — план ликвидации аварии;

РД — руководящий документ;

ТЗ — техническое задание;

ТО — техническое обслуживание;

ТУ — технические условия;

ТЭО — технико-экономическое обоснование.

## 5 Многофункциональные системы безопасности угольных шахт

### 5.1 Общие положения

5.1.1 МФСБ представляет собой комплекс аппаратно-программных средств, обеспечивающих под руководством персонала решение задач контроля состояния горных выработок, рудничной атмосферы, угольных пластов, вмещающих пород, выработанного пространства, подземных вод, технологического оборудования, а также прогнозирования опасных ситуаций и управления производством в нормальном, предаварийном и аварийном режимах.

МФСБ может создаваться в целом или частично предприятием-изготовителем по нормативным документам, утвержденным в установленном порядке (например, по ТУ или по стандарту организации).

5.1.2 Назначение МФСБ — комплексная защита шахты, персонала и оборудования в нормальных, предаварийных и аварийных условиях.

5.1.3 МФСБ обеспечивает:

- предотвращение условий возникновения аварий, связанных с геодинамическими явлениями, аэрологическим состоянием горных выработок и негативными воздействиями техногенного характера;
- оперативный контроль соответствия технологических процессов заданным параметрам;
- противоаварийную защиту людей, оборудования и сооружений;
- уменьшение ущерба от произошедшей аварии.

Объектами контроля, управления, анализа результатов измерения, оценки и прогноза являются:

- рудничная атмосфера;
- угольный массив и массив горных пород;
- горные выработки;
- изолирующие перемычки и прилегающая область выработанного пространства за ними;
- сооружения;
- шахтные воды;
- технологические процессы и оборудование;
- персонал угольной шахты;
- системы и средства обеспечения промышленной безопасности.

5.1.4 Структурно МФСБ представляет собой алгоритмически упорядоченные и взаимосвязанные совокупности функционально самостоятельных подсистем конкретного целевого назначения согласно ГОСТ 22315, ГОСТ 22316.

Технические средства и подсистемы, включаемые в МФСБ, должны поставляться с эксплуатационными документами по ГОСТ 2.610, а также могут быть изготовлены как самостоятельные изделия по технической документации предприятий-изготовителей.

5.1.5 Состав, построение, иерархию, алгоритмы работы технических средств, составляющих МФСБ, устанавливаются в зависимости от назначения, значимости, пространственной протяженности элементов подземных сооружений, горно-геологических условий, структуры шахты, а также после определения обоснованного и приемлемого перечня нейтрализуемых угроз.

5.1.6 Объективным критерием оценки при выборе технических составляющих МФСБ является ТЭО, составленное по результатам анализа риска аварии на данной шахте [1], [2] с учетом ГОСТ Р 51897 и ГОСТ Р 51901.1.

Разработка ТЭО входит в подготовку ТЗ на проектирование МФСБ.

5.1.7 МФСБ должна быть рассчитана на непрерывную круглосуточную работу и быть восстанавливаемым изделием по ГОСТ 27.003 и ГОСТ 27.301.

5.1.8 МФСБ рекомендуется разрабатывать на основе функциональных модулей, позволяющих формировать функционально ориентированные подсистемы, образующие МФСБ с заданной конфигурацией, обеспечивающей возможность ее адаптации под конкретные условия практического применения с учетом ГОСТ Р 53704.

5.1.9 Применяемые в составе МФСБ технические средства должны соответствовать требованиям по электромагнитной совместимости согласно ГОСТ Р МЭК 61326-1 и иметь защиту от несанкционированного доступа по ГОСТ Р 50922 и [3].

5.1.10 В МФСБ должна быть обеспечена защита информации по ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002 при контроле ситуаций и процессов.

## **5.2 Состав многофункциональных систем безопасности угольных шахт**

5.2.1 Состав и количество подсистем МФСБ в соответствии с ТЭО могут варьироваться в зависимости от установленных опасностей шахты. Подсистемы МФСБ должны быть преимущественно автоматизированными системами (см. ГОСТ 24.104 и ГОСТ 34.003).

5.2.2 В случае перехода режима работы шахты из нормального в предаварийный и/или аварийный должны срабатывать автоматические технические средства подсистем МФСБ и должны быть обеспечены оповещение персонала шахты и прием управляющих команд с поверхности шахты при сохранении работоспособности систем связи.

5.2.3 В качестве каналов и средств передачи обычных и/или тревожных извещений и сообщений в МФСБ могут применяться как линии связи, используемые в производственных процессах в нормальном режиме, так и перспективные каналы связи.

Для передачи визуальной и акустической информации в МФСБ применяют светозвуковое оборудование и информационное табло.

5.2.4 Состав подсистем и технических средств при проектировании МФСБ для конкретной шахты определяют в ТЗ в зависимости от этапа внедрения на шахте.

МФСБ должна получать данные от системы управления и контроля пунктов коллективного спасения персонала и от системы контроля пунктов переключения в самоспасатели в нормальном, предаварийном и аварийном режимах.

5.2.4.1 Аэрологическую безопасность обеспечивают подсистемы:

- контроля и управления стационарными вентиляторными (газоотсасывающими) установками, вентиляторами местного проветривания;
- контроля и управления дегазационными установками и подземной дегазационной сетью;
- аэрогазового контроля;
- контроля запыленности, пылевых отложений и управления пылеподавлением;
- контроля изолирующих перемычек и прилегающей области выработанного пространства за ними.

5.2.4.2 Геодинамическую безопасность за счет контроля динамических явлений массива горных пород, контроль и прогноз внезапных выбросов и горных ударов обеспечивают подсистемы:

- геофизического регионального и локального прогнозов внезапных выбросов и горных ударов;
- деформационного контроля угольного массива и горных пород.

5.2.4.3 Противопожарную безопасность обеспечивают подсистемы:

- обнаружения ранних признаков эндогенных и экзогенных пожаров и локализации экзогенных пожаров;

- контроля и управления пожарным водоснабжением.

5.2.4.4 Связь, оповещение и определение местоположения персонала обеспечивают подсистемы:

- наблюдения (определения) местоположения персонала (позиционирование);
- аварийного оповещения;
- поиска (обнаружения) людей, застигнутых аварией;
- оперативной, технологической, громкоговорящей и аварийной подземной связи;

- контроля и управления средствами взрывозащиты в газоотсасывающих и дегазационных трубопроводах и установках.

## **6 Требования к подсистемам и средствам многофункциональных систем безопасности угольных шахт**

### **6.1 Проектирование многофункциональных систем безопасности угольных шахт**

#### **6.1.1 Этапы проектирования**

6.1.1.1 Проектирование МФСБ следует проводить на основе ТЗ, которому должно предшествовать экспертное обследование шахты, выполняемое группой технических экспертов (комиссией), и анализ результатов геодинамического районирования.

Цель обследования — определение комплекса мероприятий по защите шахты, персонала и оборудования на основе обоснованных технических решений.

Обследованию подлежат инженерные сооружения и технологическое оборудование на поверхности и в горных выработках, аэрология, геология, гидрология шахты с учетом удаленности предприятия от ближайших региональных подразделений МЧС России.

Результаты обследования, выводы и рекомендации по проектированию МФСБ оформляют в виде экспертного заключения.

6.1.1.2 ТЗ на проектирование (на основании экспертного заключения обследования шахты) должно содержать следующие разделы:

- технические требования к МФСБ с учетом особенностей шахты и нейтрализуемых угроз;
- предполагаемый состав подсистем и отдельных технических средств;
- технические требования к подсистемам;
- требования по обеспечению информационной поддержки безопасной эвакуации шахтеров из шахты (с учетом ПЛА) в аварийной ситуации;
- исходные данные для проведения необходимых расчетов по разделам проекта;
- перечень необходимых документов, на основании которых будет выполнен проект.

6.1.1.3 В ТЗ на подсистемы и средства МФСБ должны быть указаны:

- показатели назначения, надежности (живучести), электромагнитной совместимости, защиты информации, помехоустойчивости;
- требования техники безопасности;
- требования охраны окружающей природной среды.

#### **6.1.2 Требования к проектированию МФСБ**

6.1.2.1 Технический проект должен содержать:

- проектируемые места расположения технических средств подсистем МФСБ;
- общие структурные схемы МФСБ;
- структурно-функциональные схемы подсистем;
- электрические соединительные, установочные и монтажные схемы;
- сборочные чертежи и деталировки отдельных узлов;
- пояснительные записки с расчетами, техническими описаниями, документацию на проведение монтажных работ.

Проектирование подсистем следует выполнять в соответствии с положениями и требованиями ГОСТ Р ИСО 10006, ГОСТ Р 57193 и ГОСТ Р МЭК 870-1-1.

Конкретный состав МФСБ шахты определяется проектом и утверждается пользователем недр при наличии положительного заключения экспертизы промышленной безопасности.

6.1.2.2 Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений не распространяется на средства контроля (мониторинга), не являющиеся средствами измерений и входящие в состав МФСБ.

6.1.2.3 В зависимости от объема и сложности работ на шахте в проекте допустимо применение как типовых, так и технически обоснованных нетиповых (оригинальных) проектных решений. При этом

6.1.2.4 Все разрабатываемые технические средства МФСБ должны соответствовать нормам пожарной безопасности [4], требованиям безопасности в угольных шахтах [5], технического регламента [6].

## **6.2 Общие требования к многофункциональным системам безопасности угольных шахт**

6.2.1 Подсистемы МФСБ должны обладать адекватностью по отношению к спектру опасностей с учетом зон в своей подконтрольной области и адаптивностью к изменениям условий функционирования шахты. Свойство адекватности в соответствии с ГОСТ Р 53704 подсистем позволяет не допустить ошибок в их структурном построении и избежать неоправданной технической избыточности при реализации. Свойство адаптивности согласно ГОСТ Р 53704 подсистем должно позволять своевременно и гибко учитывать динамику потенциальных опасностей и рисков аварий. В процессе развития шахты МФСБ должна иметь возможность адаптивного расширения; проектные решения по расширению МФСБ должны быть оформлены в виде дополнения к документации на техническое перевооружение с проведением экспертизы промышленной безопасности в установленном порядке.

6.2.2 Для анализа причин аварий должна быть использована информация, поступающая в МФСБ. Данные подсистем МФСБ в нормальном, предаварийном и аварийном режимах следует регистрировать и хранить в базе данных в течение одного года.

6.2.3 МФСБ должна обеспечивать контроль за получением работниками самоспасателя, головного светильника и средств аварийного оповещения, позиционирования и поиска, а также за спуском работников в шахту и их передвижением по выработкам; для газовых шахт — за получением средств анализа газов.

6.2.4 Запрещается без письменного разрешения технического руководителя шахты отключать МФСБ и подсистемы, входящие в ее состав.

6.2.5 Контроль содержания метана, диоксида углерода, оксида углерода, других опасных вредных газов, кислорода, скорости движения воздуха и параметров пылевзрывоопасности (запыленность, пылевые отложения) выполняется в соответствии с [7], проектами МФСБ, а средства контроля должны удовлетворять требованиям Государственной системы обеспечения единства измерений.

6.2.6 Применение новых технологий предупреждения производственных опасностей, программных средств для расчетов (проектирования) шахтных систем управления проветриванием, дегазацией, энергоснабжением и другими системами обеспечения безопасности работ допускается в соответствии с требованиями промышленной безопасности, предъявляемыми к опасным производственным объектам [8].

6.2.7 Количественный и качественный составы средств, структура построения и алгоритмы взаимодействия подсистем МФСБ должны определяться количеством, характером и уровнем автоматизации производственных процессов.

6.2.8 Идентификация результатов контроля технологических (производственных) процессов является обязательным этапом контроля для определения и устранения причин выявленных нарушений (несоответствий) в состоянии шахты, а также в деятельности и поведении людей.

6.2.9 Устройства сигнализации могут быть централизованными и/или автономными, в зависимости от конкретных условий и особенностей процессов деятельности на шахте.

6.2.10 Защита информации должна включать организационно-распорядительные меры, средства физической и электронной защиты по ГОСТ Р 50922, ГОСТ Р 51188, ГОСТ Р 51275, ГОСТ Р 53113.1, ГОСТ Р 53114, ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002 и ГОСТ 23611, [9], [10].

6.2.11 В МФСБ должна быть предусмотрена защита от несанкционированного доступа, разрушения или изменения информации (программ, действующих и архивных баз данных).

Должен быть предусмотрен уровень доступа определенным категориям персонала шахты для управления и изменения конфигурации МФСБ, перемещения или замены оборудования контроля и сигнализации. Должна быть исключена возможность корректировки баз данных контролируемых параметров, полученных в процессе работы шахты.

6.2.12 В МФСБ должны быть установлены различные уровни доступа для разных категорий персонала шахты.

6.2.13 Для защиты от вредоносного ПО должны быть приняты своевременные меры, предусматривающие контроль наличия вредоносных компьютерных программ, а также проведение профилактических и регламентных работ.

6.2.14 В случаях отключения электропитания или отказа компьютеров в МФСБ должна быть обеспечена сохранность текущей и архивной информации.

6.2.15 В МФСБ должны быть использованы технические средства, отвечающие требованиям:

- устойчивости к климатическим воздействиям по ГОСТ 15150 и ГОСТ 15543.1;
- для технических средств, работающих в подземных условиях, — УХЛ 5.1;
- для технических средств, работающих на поверхности, — УХЛ 4.2;
- устойчивости к другим воздействующим факторам по ГОСТ 14254;
- для подземных условий — не ниже IP54 (по условиям применения);
- для поверхности — не ниже IP20 (по условиям применения);
- по механическим факторам внешней среды по ГОСТ 17516.1.

Оборудование для работы во взрывоопасных средах должно соответствовать требованиям [6].

6.2.16 Подсистемы МФСБ, технические средства должны обеспечивать автоматизированную самодиагностику, передачу данных в диспетчерский пункт или их сохранение в энергонезависимой памяти.

### **6.3 Требования к функциям и условиям их выполнения многофункциональными системами безопасности угольных шахт**

#### **6.3.1 Подсистема контроля и управления стационарными вентиляторными (газоотсасывающими) установками, вентиляторами местного проветривания**

6.3.1.1 Вентиляторы главного проветривания и вспомогательные вентиляторные установки должны быть оборудованы аппаратурой дистанционного управления и контроля. Действующие вентиляторы главного проветривания и вспомогательные вентиляторные установки, которые не были при вводе в эксплуатацию оборудованы аппаратурой дистанционного управления и контроля, должны обслуживаться машинистом.

6.3.1.2 Аппаратура дистанционного управления и контроля должна соответствовать руководству по эксплуатации вентиляторных установок. При этом должна быть обеспечена возможность:

- контроля в объеме, осуществляемом машинистом вентиляторной установки;
- перехода с рабочего вентилятора на резервный и наоборот;
- перевода вентиляторных установок на реверсивный режим не более чем за 10 мин.

6.3.1.3 Пульт дистанционного управления и контроля работы вентилятора главного проветривания должен находиться в диспетчерском пункте шахты.

6.3.1.4 МФСБ должна обеспечивать сохранение параметров работы вентилятора главного проветривания.

6.3.1.5 В газовых шахтах следует применять аппаратуру автоматического контроля работы и телеуправления ВМП.

В случае остановки ВМП или нарушения вентиляции работы в тупиковой выработке должны быть прекращены, а напряжение с электрооборудования, за исключением ВМП, автоматически снято.

6.3.1.6 На всех газовых шахтах в тупиковых выработках, проводимых с применением электроэнергии и проветриваемых ВМП, за исключением вертикальных стволов и шурфов, следует применять аппаратуру автоматического контроля расхода воздуха.

6.3.1.7 При осуществлении контроля и управления работой газоотсасывающих установок должна функционировать телесигнализация (и телеизмерение) о параметрах, режимах работы и об отказе датчиков, контролирующих параметры работы этих установок.

6.3.1.8 Средняя наработка до отказа — не менее 5000 ч.

6.3.1.9 Среднее время восстановления до работоспособного состояния — не более 10 ч.

6.3.1.10 Срок службы — не менее 5 лет.

#### **6.3.2 Подсистема контроля и управления дегазационными установками и подземной дегазационной сетью**

6.3.2.1 Подсистема должна представлять собой программно-технический комплекс управления и контроля параметров процесса дегазации, соответствующий [11].

6.3.2.2 Подсистема контроля и управления стационарными дегазационными установками и подземной дегазационной сетью должна выполнять следующие функции:

- контроль разрежения у устья скважины;
- контроль разрежения в участковых и магистральных газопроводах;



- контроль содержания метана в участковых и магистральных трубопроводах;
- контроль расхода газовой смеси в участковых и магистральных трубопроводах;
- контроль температуры газовой смеси в участковых и магистральных трубопроводах;
- автоматическое или диспетчерское управление расходом газовой смеси в участковых и магистральных трубопроводах;
- контроль дегазационных установок;
- управление дегазационными установками;
- централизованную обработку и хранение полученной информации;
- отображение состояния дегазационной сети и сигнализация на автоматизированном рабочем месте оператора, контролирующего дегазационную сеть.

6.3.2.3 Измерение расхода отсасываемого метана на дегазационных скважинах и газопроводах следует осуществлять стационарными или переносными приборами на измерительных сужающих устройствах. Измерительные устройства могут быть оснащены диафрагмой, вмонтированной в газопровод по ГОСТ Р 8.563, ГОСТ 8.586.1 и ГОСТ 8.586.4.

**Примечание** — Сужающее устройство — техническое устройство, устанавливаемое в измерительном трубопроводе, со сквозным отверстием для создания перепада давления среды путем уменьшения площади сечения трубопровода (сужения потока).

6.3.2.4 Все измерительные устройства, предназначенные для применения стационарных приборов, должны быть дополнительно оборудованы врезками для периодических замеров с использованием переносных приборов.

6.3.2.5 Подсистема должна обеспечивать сигнализацию об опасном содержании метана, кислорода, оксида и диоксида углерода и водорода в дегазационном трубопроводе.

6.3.2.6 Средняя наработка до отказа — не менее 2500 ч.

6.3.2.7 Среднее время восстановления до работоспособного состояния — не более 6 ч.

6.3.2.8 Средний срок службы — не менее 5 лет.

### **6.3.3 Подсистема аэрогазового контроля**

6.3.3.1 Подсистема аэрогазового контроля представляет собой совокупность технических, информационных, программных, организационных и других систем и средств, обеспечивающих мониторинг аэрологического состояния, контроль за соблюдением проектных решений и требований промышленной безопасности с целью своевременного предотвращения условий возникновения и обнаружения опасностей аэрологического характера, поддержания безопасного аэрогазового состояния и реализации противоаварийного управления (защиты) при обнаружении опасных событий и ситуаций, связанных с аэрологическим состоянием предприятия (его части).

6.3.3.2 Подсистема аэрогазового контроля обеспечивает контроль рудничной атмосферы стационарными, переносными (групповыми) и/или индивидуальными средствами, включая встроенные в головные светильники. На газовых шахтах оперативный контроль за соблюдением требований [5], [7] и проектных решений, предотвращающих условия возникновения опасностей аэрологического характера, должна обеспечивать подсистема аэрогазового контроля, в состав которой входят также средства контроля за положением вентиляционных дверей.

**Примечание** — Данные измерений переносных газоанализаторов и датчиков (измерительных модулей), встроенных в головные светильники, передаются на пульт горного диспетчера (оператора АГК) в режиме реального времени с идентификацией мест замеров.

6.3.3.3 На газовых шахтах данные об объеме воздуха, подаваемого в забой, должны передаваться в подсистему аэрогазового контроля.

6.3.3.4 Сведения о превышении допустимой концентрации метана должны передаваться в органы, уполномоченные в области промышленной безопасности и/или горного надзора.

6.3.3.5 Стационарные средства подсистемы аэрогазового контроля должны иметь автономные резервные источники электропитания, обеспечивающие работоспособность после прекращения подачи электропитания от основных источников в течение не менее 16 ч.

6.3.3.6 Средняя наработка до отказа — не менее 2500 ч.

6.3.3.7 Среднее время восстановления до работоспособного состояния — не более 3 ч.

6.3.3.8 Средний срок службы — не менее 5 лет для автоматизированной системы и не менее 4 лет для отдельных приборов системы.

#### **6.3.4 Подсистема контроля запыленности, пылевых отложений и управления пылеподавлением**

6.3.4.1 При организации подсистемы контроля запыленности, пылевых отложений и управления пылеподавлением должны соблюдаться требования [7], [12], [13].

6.3.4.2 Средняя наработка до отказа — не менее 2500 ч.

6.3.4.3 Среднее время до восстановления работоспособного состояния — не более 6 ч.

6.3.4.4 Средний срок службы — не менее 5 лет.

#### **6.3.5 Подсистема геофизического регионального и локального прогноза внезапных выбросов и горных ударов**

6.3.5.1 На шахтах, опасных по проявлению горных ударов и внезапных выбросов, оперативный контроль за соблюдением требований [5], [14] — [16] и проектных решений должна обеспечивать подсистема геофизического регионального и локального прогнозов внезапных выбросов и горных ударов [5], [15].

6.3.5.2 Для осуществления регионального геофизического прогноза удароопасности в состав подсистемы должны быть включены контрольно-прогнозные системы наблюдений за опасными природными и техногенными явлениями, предусматривающие непрерывный прием сейсмических, сейсмоакустических и других сигналов с помощью пространственно распределенных внутри шахтной сети датчиков (пунктов наблюдений) и их анализ.

6.3.5.3 Шахты, разрабатывающие пласты, опасные по горным ударам и внезапным выбросам, должны быть обеспечены приборами и аппаратурой, необходимыми для подсистемы локального прогноза ударо- и выбросоопасности.

6.3.5.4 Критерии удароопасности, установленные для подсистем локального прогноза, должны быть подтверждены данными контроля удароопасности по выходу буровой мелочи.

6.3.5.5 Критерии прогноза горных ударов должны формироваться в процессе проведения цикла работ по изучению структурных и горнотехнических признаков, являющихся предпосылками возникновения динамических проявлений горного давления, выполненных на потенциально опасных участках.

6.3.5.6 Средняя наработка до отказа — не менее 10 000 ч.

6.3.5.7 Среднее время восстановления до работоспособного состояния — не более 6 ч.

6.3.5.8 Средний срок службы — не менее 5 лет.

#### **6.3.6 Подсистема деформационного контроля угольного массива и горных пород**

6.3.6.1 Подсистема должна обеспечивать непрерывный автоматический контроль деформации вмещающих пород горных выработок в опасных зонах, выделенных региональной системой геофизического контроля и горных пород.

6.3.6.2 Средняя наработка до отказа — не менее 10 000 ч.

6.3.6.3 Среднее время восстановления до работоспособного состояния — не менее 6 ч.

6.3.6.4 Средний срок службы — не менее 5 лет.

#### **6.3.7 Подсистема обнаружения ранних признаков эндогенных и экзогенных пожаров и локализации экзогенных пожаров**

6.3.7.1 Подсистема обнаружения ранних признаков эндогенных и экзогенных пожаров и локализации экзогенных пожаров должна обеспечивать:

- непрерывный автоматический контроль параметров рудничной атмосферы для обнаружения подземных пожаров (признаков подземных пожаров) и начальной стадии возникновения пожаров (признаков ранней стадии возникновения пожаров) в соответствии с [7];

- непрерывный автоматический контроль нагрева узлов ленточных конвейеров на всем протяжении;

- регистрацию уровня фонового содержания оксида углерода и водорода на всех участках, разрабатывающих пласты, склонные к самовозгоранию;



- локализацию пожара в течение времени, необходимого для введения в действие оперативных сил и средств пожаротушения;
- необходимую подачу воды установленной интенсивности.

6.3.7.5 Следует применять установки пожаротушения, средства блокировки, не допускающие работу машин и механизмов при несоответствии давления воды в пожарном трубопроводе нормативным требованиям.

6.3.7.6 Средняя наработка до отказа — не менее 5000 ч.

6.3.7.7 Среднее время восстановления до работоспособного состояния — не более 6 ч.

6.3.7.8 Средний срок службы — не менее 5 лет.

#### **6.3.8 Подсистема контроля и управления пожарным водоснабжением**

6.3.8.1 Подсистема контроля и управления пожарным водоснабжением должна обеспечивать поддержание оптимальных условий функционирования пожарного водоснабжения поверхностных и подземных объектов и его готовности к ликвидации возникшей аварии на шахте путем оперативного выявления мест возникновения нарушений в сети пожарно-оросительного трубопровода и их устранения до возникновения пожара.

Требования к централизованному контролю и управлению пожарным водоснабжением приведены в [6].

6.3.8.2 Средняя наработка до отказа — не менее 10 000 ч.

6.3.8.3 Среднее время восстановления до работоспособного состояния — не более 5 ч.

6.3.8.4 Средний срок службы — не менее 5 лет.

#### **6.3.9 Подсистема наблюдения и определения местоположения персонала в горных выработках (позиционирование)**

6.3.9.1 Подсистема наблюдения и определения местоположения персонала должна обеспечить контроль в поддерживаемых горных выработках, в том числе на транспортных средствах и подвижном оборудовании.

6.3.9.2 Подсистема наблюдения и определения местоположения персонала в горных выработках шахты должна обеспечивать автоматическое выявление своевременно не покинувших шахту работников и сигнализировать о необходимости принятия мер по их поиску, в том числе с использованием подсистемы поиска [обнаружения] людей, застигнутых аварией.

6.3.9.3 Подсистема должна в режиме реального времени (период обновления данных о местонахождении всех работников не более 5 с) определять местоположение каждого спустившегося в шахту работника с отображением на масштабной схеме шахты в диспетчерской. Необходимо обеспечить определение местоположения всех работников, спустившихся в шахту, с разрешением не хуже  $\pm 20$  м. При этом должны быть установлены скорость и направление передвижения персонала.

*Примечание* — Допускается на разных участках шахты осуществлять определение местоположения персонала с разными периодами и разрешением. Допускается определять состояние персонала.

6.3.9.4 Скорость обработки данных в подсистеме должна быть достаточной для гарантированного определения положения всех присутствующих в шахте работников.

6.3.9.5 Диспетчер должен иметь возможность вызвать работника к средствам связи, используя подсистемы наблюдения и определения местоположения или аварийного оповещения. При этом подсистема должна оповещать диспетчера о приеме работником сигнала вызова.

6.3.9.6 Технические средства подсистемы МФСБ должны функционировать в горных выработках, на шахтном транспорте и при подъеме, исключая шахтный вертикальный (клетевой) подъем.

6.3.9.7 Средняя наработка до отказа — не менее 5000 ч.

6.3.9.8 Среднее время восстановления до работоспособного состояния — не более 6 ч.

6.3.9.9 Средний срок службы — не менее 5 лет.

- ведение переговоров и передачу с автоматической записью указаний, связанных с ликвидацией аварии.

Во всех телефонных аппаратах общешахтной телефонной сети должна быть предусмотрена возможность передачи сообщения об аварии путем набора специального легко запоминающегося номера.

Кроме специальной аппаратуры аварийного оповещения и связи для передачи сообщения об аварии следует использовать средства местной технологической связи.

6.3.10.2 Аппаратура аварийной связи и оповещения должна быть установлена:

- в шахте;

- у абонентов — по указанию главного инженера шахты и в соответствии с планом ликвидации аварий;

- на поверхности — у диспетчера и главного инженера шахты.

6.3.10.3 Подсистема беспроводного аварийного оповещения и подсистема шахтной радиосвязи должны обеспечивать совместимость работы с системами автоматики, сигнализации, средствами защиты и энергоснабжения.

6.3.10.4 Используемые на шахте система телефонной связи, система громкоговорящей связи, местные системы оперативной и предупредительной сигнализации на технологических участках (подъеме, транспорте, очистных забоях и др.) могут быть использованы для резервирования канала аварийного оповещения, и в этом случае они должны взаимодействовать с МФСБ.

6.3.10.5 Сигнал аварийного оповещения должен автоматически дублироваться в горноспасательную службу, обслуживающую шахту.

6.3.10.6 Средняя наработка до отказа — не менее 15 000 ч.

6.3.10.7 Среднее время восстановления до работоспособного состояния — не более 30 мин.

6.3.10.8 Средний срок службы — не менее 5 лет.

#### **6.3.11 Подсистема поиска и обнаружения людей, застигнутых аварией**

6.3.11.1 При аварии должен быть обеспечен оперативный поиск работников в завалах с начальной точки поиска — положения персонала, зарегистрированного системой наблюдения в начале аварии. Поиск работников следует осуществлять с помощью средств, работоспособность которых не зависит от режима работы, в котором находится шахта, и состояния других подсистем МФСБ.

6.3.11.2 Подсистема поиска и обнаружения людей, застигнутых аварией, должна функционировать в течение не менее 36 ч после наступления аварии.

6.3.11.3 Средняя наработка до отказа — не менее 5000 ч.

6.3.11.4 Среднее время восстановления работоспособного состояния стационарной части подсистемы — не более 5 ч.

6.3.11.5 Средний срок службы — не менее 5 лет.

#### **6.3.12 Подсистема оперативной, технологической, громкоговорящей и аварийной подземной связи**

6.3.12.1 Подсистема оперативной, технологической, громкоговорящей и аварийной подземной связи предназначена для оперативного управления и координации действий персонала шахты, а также при необходимости для оповещения и руководства действиями работников и других специалистов, находящихся в шахте, вне зависимости от обстановки на шахте.

6.3.12.2 Подсистема связи должна обеспечивать:

- общешахтную телефонную связь;

- местную оперативную связь и предупредительную сигнализацию на технологических участках (подъеме, транспорте, очистных забоях и др.);

- регистрацию переговоров в аварийной ситуации.

6.3.12.3 Технические средства подсистемы МФСБ должны функционировать в горных выработках, на шахтном транспорте и при подъеме.

6.3.12.4 Очистные забои на пологих и наклонных пластах должны быть оборудованы громкоговорящей связью между пультом машиниста комбайна и переговорными постами, установленными по лаве и на прилегающих выработках.

6.3.13.1 МФСБ должна обеспечивать прямую связь и другие резервные способы связи с горноспасательной службой и обеспечивать передачу на диспетчерский пункт горноспасательной службы сигнала о нарушении нормального режима работы контролируемого объекта.

6.3.13.2 Средняя наработка до отказа — не менее 8500 ч.

6.3.13.3 Среднее время восстановления до работоспособного состояния — не более 6 ч.

6.3.13.4 Срок службы — не менее 5 лет.

#### **6.3.14 Подсистема контроля и управления средствами взрывозащиты горных выработок**

6.3.14.1 Подсистема контроля и управления средствами взрывозащиты горных выработок должна обеспечивать предупреждение, локализацию взрывов и (или) снижение поражающих факторов взрыва до приемлемого уровня в горных выработках, контроль и управление средствами, входящими в подсистему.

6.3.14.2 Требования к подсистемам контроля и управления средствами взрывозащиты горных выработок приведены в [17]. ГОСТ Р 56141.

6.3.14.3 Средняя наработка до отказа — не менее 8500 ч.

6.3.14.4 Среднее время восстановления до работоспособного состояния — не более 6 ч.

6.3.14.5 Срок службы — не менее 5 лет.

#### **6.3.15 Подсистема контроля и управления средствами взрывозащиты в газоотсасывающих и дегазационных трубопроводах и установках**

6.3.15.1 Подсистема контроля и управления средствами взрывозащиты в газоотсасывающих и дегазационных трубопроводах и установках должна обеспечивать предупреждение, локализацию взрывов и/или снижение поражающих факторов взрыва до приемлемого уровня, а также контроль и управление средствами, входящими в подсистему.

6.3.15.2 Огнепреградители, входящие в состав подсистемы, должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 53323.

6.3.15.3 Должны быть обеспечены контроль и управление огнепреградителями.

6.3.15.4 Средняя наработка до отказа — не менее 10 000 ч.

6.3.15.5 Среднее время восстановления до работоспособного состояния — не более 6 ч.

6.3.15.6 Срок службы — не менее 5 лет.

#### **6.3.16 Подсистема магистральных сетей связи МФСБ**

6.3.16.1 Подсистема магистральных сетей связи выполняет функции взаимовязанной отказоустойчивой транспортной системы передачи информации в шахты, в том числе обеспечивает безопасное взаимодействие разных подсистем МФСБ и децентрализованных технических средств МФСБ.

6.3.16.2 Средняя наработка до отказа — 10 000 ч.

6.3.16.3 Среднее время восстановления до работоспособного состояния (ремонтпригодность) — не более 6 ч.

6.3.16.4 Средний срок службы — не менее 5 лет.

## **7 Требования безопасности**

7.1 Электрооборудование МФСБ должно соответствовать требованиям [5], [6].

7.2 Требования безопасности к техническим средствам подсистем установлены в ГОСТ IEC 61140, ГОСТ 12.1.019, ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТ 31610.0. Дополнительные требования должны быть приведены в ТУ на устройства конкретных типов.

7.3 Технические средства МФСБ должны соответствовать требованиям эксплуатации, установленным в [5], [11], [7], [14], [17]—[19].

7.4 При проектировании, построении и применении МФСБ должны соблюдаться требования пожарной безопасности [4], [5 (раздел LV)], а также требования [20].

7.5 Ремонт устройств защиты должен быть произведен специализированными предприятиями по чертежам предприятия — изготовителя устройств защиты.

7.7 Технические средства и используемые материалы подсистем МФСБ должны соответствовать установленным требованиям по электро-, пожарной и взрывобезопасности согласно ГОСТ 12.2.091, ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.010.

## **8 Требования к электропитанию многофункциональных систем безопасности угольных шахт**

8.1 Электропитание технических средств систем МФСБ, эксплуатируемых во взрывоопасных зонах, может быть осуществлено от слаботочной шахтной сети переменного тока, а также от вторичных или автономных источников электропитания рудничного исполнения.

8.2 Переход технических средств подсистем с основного источника электропитания на резервный и наоборот должен быть осуществлен в автоматическом режиме.

При использовании в качестве резервного источника электропитания встроенной аккумуляторной батареи должна быть обеспечена ее автоматическая подзарядка.

8.3 Технические средства МФСБ, питающиеся на поверхности от сети переменного тока, должны функционировать при частоте сети ( $50 \pm 1$ ) Гц и напряжении от 187 до 242 В.

8.4 Работоспособность подсистем контроля, наблюдения и оповещения при прекращении подачи электроэнергии от основных источников должна поддерживаться в течение не менее 16 ч, а систем аварийного оповещения — постоянно.

## **9 Общие требования к организации эксплуатации многофункциональных систем безопасности угольных шахт**

9.1 Эксплуатация МФСБ включает следующие основные мероприятия:

- организация структурного подразделения, занимающегося эксплуатацией, обеспечением защиты информации и безопасности технических средств;
- организация и проведение планового технического обслуживания (регламентные работы) в сроки, установленные в эксплуатационных и нормативных документах;
- проведение планово-предупредительных ремонтов;
- неплановое техническое обслуживание при необходимости;
- техническое освидетельствование МФСБ после аварийной ситуации, в случае временной приостановки действия (целевого применения) технических средств с их возможной последующей регламентируемой консервацией;
- проведение текущих ремонтов, включая использование обменного фонда (если это установлено в эксплуатационных и нормативных документах);
- своевременная отправка пришедших в негодность технических средств в ремонтные предприятия и получение их из ремонта;
- содержание обменного фонда в объемах, необходимых для проведения восстановительных работ на шахте за минимальное время;
- организация и содержание помещений для хранения приборов, оборудования, материалов и инструментов, необходимых для проведения восстановительных работ в технических подсистемах МФСБ;
- организация и содержание рабочих мест для проведения ремонтов силами технической службы шахты;
- проведение постоянного технического надзора за состоянием технических подсистем МФСБ;
- проведение периодических технических осмотров контролируемых зон с установленными техническими средствами подсистем МФСБ;
- техническое освидетельствование подсистем по результатам эксплуатации;
- списание и утилизация пришедших в негодность и выработавших установленные сроки службы или достигших предельного состояния по износу технических средств подсистем МФСБ;
- ведение эксплуатационной документации (паспортов, журналов по эксплуатации);
- проведение статистического анализа по результатам эксплуатации технических средств подсистем МФСБ.

**Примечание** — Для конкретных условий эксплуатации шахты перечень мероприятий может быть дополнен. Техническое освидетельствование оборудования включает в себя наружный и внутренний осмотры и проверку работоспособности оборудования с целью определения технического состояния, возможности безопасной эксплуатации и дальнейшего обслуживания оборудования, с периодичностью и в сроки согласно требованиям действующего законодательства.

9.2 ТО и ремонт технических средств подсистем МФСБ следует проводить по утвержденным действующим методикам, инструкциям, руководствам, описаниям и нормативам, ГОСТ Р 53704, [8].

Общие правила организации и проведения типовых регламентов ТО изложены в приложении В.

9.3 Списание восстанавливаемых технических средств подсистем МФСБ проводят на основании технического освидетельствования по истечении их сроков службы и критериев предельного состояния, устанавливаемых в технической документации на конкретные изделия.

Списание и утилизацию не подлежащих восстановлению технических средств подсистем МФСБ проводят на основании экспертных заключений.

9.4 Эксплуатационная документация технических средств подсистем МФСБ должна соответствовать ГОСТ 2.601.



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Программа для ЭВМ «Программа для оценки индивидуального риска смертельного травмирования работников угольных шахт в результате обрушения горных пород»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**  
о государственной регистрации программы для ЭВМ  
**№ 2020665859**

**Программа для оценки индивидуального риска смертельного травмирования работников угольных шахт в результате обрушения горных пород**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (RU)*

Авторы: *Рудаков Марат Леонидович (RU), Кольвах Константин Андреевич (RU)*

Заявка № **2020664614**  
Дата поступления **20 ноября 2020 г.**  
Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ **01 декабря 2020 г.**



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

*Г.П. Изюев* Г.П. Изюев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU2020665859

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): 2020665859 Дата регистрации: 01.12.2020 Номер и дата поступления заявки: 2020664614 20.11.2020 Дата публикации и номер бюллетеня: 01.12.2020 Бюл. № 12 Контактные реквизиты: Нет	Автор(ы): Рудаков Марат Леонидович (RU), Кольвах Константин Андреевич (RU) Правообладатель(и): федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (RU)
---	--

**Название программы для ЭВМ:**

Программа для оценки индивидуального риска смертельного травмирования работников угольных шахт в результате обрушения горных пород

**Реферат:**

Программа предназначена для повышения безопасности труда работников угольных шахт и позволяет определить вероятность обрушения горных пород и, как следствие, величину индивидуального риска смертельного травмирования в результате обрушения горных пород на основе геофизических данных. Вероятность обрушения горных пород определяется на основе критерия максимального правдоподобия и метода Парзена, а величина индивидуального риска на основе теоремы Байеса. Программа может быть использована для подготовки студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Технологическая безопасность и горноспасательное дело» по дисциплине «Управление охраной труда».

**Язык программирования:** MATLAB

**Объем программы для ЭВМ:** 4 КБ

Полный исходный текст программы:

```

clc

prompt = {'Число величин интегрированного критерия Nob',...
          'Ниже порогового значения Ndop',...
          'Выше порогового значения Nnedop'};
Ndata = inputdlg(prompt, 'Введите данные');
Nob = str2double(strsplit(Ndata{1,1}, ' ')); % Число величин
интегрированного критерия
Ndop = str2double(strsplit(Ndata{2,1}, ' ')); % Ниже порогового значения
Nnedop = str2double(strsplit(Ndata{3,1}, ' ')); % Выше порогового значения

% Контроль размеров
if (size(Nob, 2) ~= size(Ndop, 2))
    disp('Массивы Nob, Ndop должны иметь одинаковый размер. Программа
завершена');
    disp([size(Nob, 2), size(Ndop, 2)]);
    return
end
if (size(Nob, 2) ~= size(Nnedop, 2))
    disp('Массивы Nob, Nnedop должны иметь одинаковый размер.
Программа завершена');
    disp([size(Nob, 2), size(Nnedop, 2)]);
    return
end

% Контроль данных

for i = 1:size(Nob,2)
    if Nob(i) ~= (Ndop(i)+Nnedop(i))

```



```
disp('Введены неверные данные. Программа завершена: ');
disp([Nob(i), Nдоп(i), Nнедоп(i)]);
return
end
end

% Для расчета 3-мя способами
Rnedop = zeros(3, size(Nob,2));

prompt = {'X0',...
          'X1',...
          'Y0'};
XYdata = str2double(inputdlg(prompt, 'Введите данные'));

X0 = XYdata(1);
X1 = XYdata(2);
Y0 = XYdata(3);

% Контроль
if X0 < X1
    disp('Введены неверные данные X0, X1. Программа завершена');
    return;
end;
if Y0 < X1
    disp('Введены неверные данные Y0, X1. Программа завершена');
    return;
end;

A = X1/X0;
B = X1/Y0;
```

```
% Метод Байеса
disp('Метод Байеса')

% Коэффициенты правдоподобия
L = zeros(size(Nob,2),1);

% Плотность распределения для Rnedop
Fnedop = zeros(size(Nob,2),1);

% Плотность распределения для Rdop
Fdop = zeros(size(Nob,2),1);

F = zeros(size(Nob,2),1);

% Расчет
for i = 1:size(L,1)

    % (2) Коэффициент правдоподобия
    L(i) = Ndop(i)/Nnedop(i);

    if L(i) > 1
        Rnedop(1, i) = 0;

        disp('Риск допустимый');
        disp(L(i));
        continue;
    end;

    F(i) = Nob(i) * 4;
```

```

% (3)
Fdop(i) = Ndop(i)/F(i);

% (4)
Fnedop(i) = Nnedop(i)/F(i);

% (5) Вероятность принятия решения R = Rнедоп
beta = Fdop(i)*L(i);

% (6)
Rnedop(1,i) = 1-beta;
disp(Rnedop(1,i));
end

% -----
% Метод Парзена
disp('Метод Парзена')
w1 = zeros(size(Nob,2),1);
w2 = zeros(size(Nob,2),1);
Rdop = zeros(size(Nob,2),1);

K = 0.6; % Коэффициент горногеологических условий

for i = 1:size(L,1)
    w1(i) = Ndop(i)/Nob(i);
    w2(i) = Nnedop(i)/Nob(i);

    if w2(i) <= 0

```

```

Rnedop(2,i) = 0;

disp('Риск допустимый');
continue;
end;

Rdop(i) = w1(i)/K;
Rnedop(2,i) = w2(i)*K;
disp(Rnedop(2,i));
end

% -----
% Метод ближайшего соседа
disp('Метод ближайшего соседа')
C = 0.61;
D = 0.67;
g = C/D;

l1 = 50;
l2 = 48;
h = l1/l2;

S = 0.72; % Поправочный коэффициент

Qdop = zeros(size(Nob,2),1);
Qnedop = zeros(size(Nob,2),1);

for i = 1:size(L,1)
    Qdop(i) = g*h*Ndop(i)/Nob(i);

```

```
Qnedop(i) = g*h*Nnedop(i)/Nob(i);

Rnedop(3,i) = (1-Qdop(i))*S;
disp(Rnedop(3,i));
end

% Индивидуальный риск
Rind = zeros(size(Nob,2),1);
for i = 1:size(L,1)
    R = max(Rnedop(i));
    if R > 0
        Rind(i,1) = A*R / B;
    else
        Rind(i,1) = 0;
    end
end

disp('Индивидуальный риск');
disp(Rind);
```