

*На правах рукописи*



**БЕСПЕРСТОВ Дмитрий Александрович**

**РАЗРАБОТКА НАУЧНО ОБОСНОВАННОГО МЕТОДА  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА С  
ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ СПАСЕНИЯ ПЕРСОНАЛА УГОЛЬНЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Специальность 05.26.01 –  
«Охрана труда (горная промышленность)»*

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

**Кемерово – 2018**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кемеровский государственный университет» (ФГБОУ ВО «КемГУ»).

Научный руководитель: **Фомин Анатолий Иосифович**, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник АО «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли» (АО «НЦ ВостНИИ»).

Официальные оппоненты: **Шевченко Леонид Андреевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой аэрологии, охраны труда и природы ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева».

**Кравчук Игорь Леонидович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, директор Челябинского филиала Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук.

Ведущая организация: Ассоциация «Некоммерческое партнерство «Кузбасский межотраслевой Центр охраны труда» (Ассоциация «НП «Кузбасс – ЦОТ»).

Защита состоится «04» декабря 2018 г. в 10<sup>00</sup> на заседании диссертационного совета Д 520.063.02 при АО «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли» по адресу: 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте АО «НЦ ВостНИИ»: <http://www.nc-vostnii.ru/napravleniya-deyatelnosti/nauchno-obrazovatel'naya-deyatelnost/soiskateli.php>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 520.063.02



Д.В. Ботвенко

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Обеспечение безопасности жизни и здоровья работников на угольных предприятиях при возникновении негативных производственных факторов, относящихся к наиболее опасным техногенным авариям, является неотъемлемой частью создания надлежащих условий трудовой деятельности.

В результате проведенных исследований установлено, что всего около 50 % наземных зданий и сооружений угольных предприятий Кемеровской области полностью отвечают требованиям охраны труда работников в части обеспечения их безопасности от воздействия вредных и опасных производственных факторов на рабочих местах.

В настоящее время достаточно часто обсуждается гибель персонала на угольных предприятиях, задействованных в выполнении подземных работ, при этом забывается о возможной гибели работников, находящихся в зданиях и сооружениях наземного комплекса. Большинство указанных зданий, построенных не один десяток лет назад, характеризуются значительным износом строительных и технических конструкций. Данные здания спроектированы и введены в эксплуатацию значительно раньше вступления в силу Федерального закона Российской Федерации «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Вследствие этого их невозможно привести к современным требованиям в области обеспечения безопасности без значительных финансовых затрат, что зачастую и экономически нецелесообразно. Оставлять в таком состоянии здания и сооружения также нельзя, так как в них не обеспечивается безопасность условий труда работников, находящихся в производственных и непроизводственных поверхностных зданиях и сооружениях угольных предприятий.

Фактически не весь персонал находится в равных трудовых условиях. Вместе с тем работодатель обязан обеспечивать безопасные условия труда всех работников, в том числе путем использования средств защиты и спасения.

В силу стремительного нарастания воздействующих на работников опасных производственных факторов и невозможности обеспечения безопасности персонала посредством «жестко» определенных нормами систем по обеспечению безопасности объектов, использование средств защиты и спасения является чуть ли не единственным организационно-техническим мероприятием по созданию безопасных условий труда для персонала.

Значительный вклад в области охраны труда и создания безопасных условий работы на предприятиях угольной отрасли внесли ученые А.О. Андреев, В.Б. Артемьев, А.И. Добровольский, В.А. Галкин, Л.К. Гейхман, В.Н. Захаров, А.М. Игнатова, Н.О. Каледина, А.Б. Килин, В.И. Козлачков, Г.И. Козовой, Ю.А. Кошмаров, И.Л. Кравчук, А.А. Ли, В.В. Лисовский, И.А. Лобаев, А.М. Макаров, И.В. Ставцева, Г.З. Файнбург, А.В. Федоров, А.Ю. Хохлова, К.А. Черный.

Несмотря на глубину и обширность выполненных теоретических и экспериментальных работ, особую актуальность для обеспечения современных

требований охраны труда приобретает создание научно обоснованной методики социальной и экономической оценки эффективности применения средств спасения работников угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий.

При существующей низкой защищенности наземных зданий и сооружений предприятий угольной промышленности, выраженной в значительном количестве нарушений в области охраны труда и безопасности, и невозможности их приведения к современным условиям по обеспечению безопасности работников возникла потребность в разработке метода прогнозирования и управления рисками для работников, не успевших эвакуироваться до наступления опасных производственных факторов. Из существующих систем защиты поверхностного комплекса актуальны исследования, направленные на применение средств спасения с высоты по причине их мобильности, также данные средства не относятся к капитальным, дорогостоящим мероприятиям.

Анализ прогнозирования и управления рисками с применением средств спасения персонала на угольных предприятиях выполнялся при проведении научно-исследовательских работ кафедры «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «КемГУ» по темам: исследование факторов трудового процесса, влияющих на работоспособность; исследование условий труда работников; исследование причин производственного травматизма.

**Цель работы.** Разработка научно обоснованного метода прогнозирования и управления рисками с применением средств спасения работников поверхностного комплекса угольных предприятий.

**Идея работы.** Снижение расчетной величины индивидуального риска гибели работников поверхностных зданий и сооружений угольных предприятий до допустимого значения путем использования средств спасения с высоты.

**Предмет, объект исследований.** В работе предметом исследования являются средства спасения персонала угольных предприятий с высоты, используемые при возникновении опасных производственных факторов. Объектом исследования является безопасность работников, выраженная в вероятностных критериях наступления неблагоприятных событий (расчетная величина индивидуального риска).

**Основные задачи исследований:**

1. Определить степень влияния на безопасность жизни (здоровья) работников, объектов защиты предприятий угольной промышленности при нарушении требований в области охраны труда.

2. Разработать модель зависимости необходимого количества средств спасения людей с высоты от наступления опасных производственных факторов и технических характеристик устройств самоспасения при возникновении данных факторов в поверхностных зданиях и сооружениях производственного и непроизводственного комплекса угольных предприятий.

3. Оценить эффективность применения средств спасения с высоты работников угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий.

**Защищаемые научные положения.**

1. Показателем определения эффективности мероприятий по обеспечению охраны труда работников и объектов защиты угольных предприятий от негативных производственных факторов является вероятностная мера наступления неблагоприятного события, определяемая как потенциальный риск гибели персонала.

2. Введенный коэффициент безопасности охраны труда, основанный на расчетном времени выхода работников из опасной зоны наземных зданий и сооружений угольной отрасли, позволяет определить влияние технических характеристик средств спасения на расчетную величину индивидуального риска гибели персонала угольной промышленности.

3. Расчетная величина индивидуального риска гибели работников от способа их спасения описывается математически функциональной зависимостью и позволяет оценить охрану труда и безопасность работников с учетом количества применяемых спасательных устройств, а также от физического и психологического состояния персонала.

**Научная новизна работы состоит в следующем:**

- предложена методика по оценке безопасности работников и угольных предприятий при возникновении опасных факторов производства;

- предложен коэффициент, устанавливающий взаимосвязь технических характеристик средств спасения с вероятностью недопущения гибели персонала при возникновении опасных факторов в поверхностных зданиях угольного производства;

- обоснована математическая модель по определению необходимого количества средств спасения от наступления опасных производственных факторов;

- определена вероятность спасения работников в зависимости от вероятностных критериев возможности применения спасательных средств, влияющих на величину индивидуального риска гибели персонала наземного комплекса зданий и сооружений.

**Методы исследований.** В работе применены положения теории вероятности и математической статистики. Используются классические понятия рисков как сочетания вероятности и уровня возможных негативных статистических производственных последствий для работников. В качестве базового метода исследования применена классическая оценка рисков, установленная нормативно-правовыми актами Российской Федерации, а также использованы технические характеристики средств спасения, выраженные во времени их подготовки, активации и спуска.

**Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:**

- необходимым и достаточным количеством для статистической обработки материалов о соответствии угольных предприятий требованиям в области охраны труда и безопасности (более 200 поверхностных объектов защиты, расположенных на территориях более 130 угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий Кемеровской области);

- соответствием построенных математических моделей фундаментальным положениям теории вероятности;

- согласованностью в расчетах построенной математической модели определения минимально необходимого количества средств спасения, в зависимости от их технических характеристик, параметров зданий и площадей помещений, с практической её апробацией, приведенной в форме экспресс-методики. Так, в построенных функциях определения минимально необходимого количества спасательных устройств коэффициент достоверности аппроксимации принимает значения от 0,995 до 1;

- положительными результатами практического использования разработанного метода по снижению риска гибели работников посредством применения средств спасения на предприятиях по добыче и переработке угля.

**Практическая значимость.** Практическая значимость проведенных исследований заключается в следующем:

1. Разработана методика оценки уровня безопасности персонала и объектов при возникновении опасных производственных факторов, связанных с пожарами, позволяющая установить меру влияния способов и средств обеспечения безопасности (требований, мероприятий) на сохранение жизни и здоровья работников.

2. Дана социальная и экономическая оценка эффективности способов и средств обеспечения безопасности, сохранения здоровья работников угольных предприятий на основе моделирования влияния средств спасения на расчетную величину индивидуального риска гибели работников.

3. Результаты исследований могут использоваться в учебном процессе по направлению подготовки, переподготовки и повышению квалификации работников угольных предприятий по охране труда и безопасности.

#### **Реализация результатов работы.**

Основные научные результаты и рекомендации исследований автора реализованы на угольных предприятиях Кемеровской области АО «Шахта «Заречная» г. Полысаево и ООО «Горная обогатительная фабрика Анжерская» г. Анжеро-Судженска в части обеспечения безопасности персонала с использованием средств спасения с высоты. Результаты исследований были использованы при оценке объектов защиты данных организаций на предмет соответствия их условиям безопасности труда, о чем свидетельствуют акты внедрения.

Разработаны и составлены справочные каталоги выбора средств спасения с высоты в зависимости от их технических характеристик и расчетного времени наступления опасных производственных факторов, с учетом социально-экономической эффективности применения данных средств.

**Апробация работы.** Результаты исследований и основные положения диссертационной работы обсуждались и были одобрены научной общественностью на всероссийских и международных научно-практических конференциях: Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири СИБРЕСУРС 2016» (г. Кемерово, 2016); Международном издательском холдинге

профессиональной периодики «Охрана труда и пожарная безопасность» (г. Москва, 2016); X Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Россия молодая» (г. Кемерово, 2018); VI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, 2018) и др.

**Личный вклад автора заключается в следующем:**

- в проведении анализа и оценки соответствия наземных зданий и сооружений угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий Кемеровской области установленным требованиям;
- в разработке методики по оценке уровня безопасности персонала и объектов при возникновении негативных производственных факторов, связанных с пожарами;
- в разработке методики выбора средств спасения работников с высоты в зависимости от технических характеристик данных средств и времени наступления опасных производственных факторов;
- в построении математической зависимости расчетной величины индивидуального риска от технических характеристик средств спасения работников и их количества;
- в разработке социальной и экономической оценки эффективности применения средств спасения работников производственных и непроизводственных зданий и сооружений поверхностного комплекса угольных предприятий.

**Публикации.** Всего по теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, в журналах из перечня ВАК – 11.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, изложенных на 129 страницах, содержит 23 рисунка, 10 таблиц, список литературы из 151 наименования. Диссертация включает 1 приложение.

**Во введении** приведена общая характеристика работы, её актуальность, цель, идея, задачи, научная новизна, сформулированы основные защищаемые положения, практическая значимость и личный вклад автора.

**В первой главе** приводится состояние вопроса и задачи исследований на основе анализа данных по обеспечению безопасности трудовой деятельности работников угольных предприятий. Проведена оценка безопасности поверхностных зданий и сооружений угольной промышленности Кемеровской области.

**Вторая глава** посвящена оценкам рисков в зданиях и сооружениях производственного и непроизводственного назначения поверхностных комплексов предприятий по добыче и переработке угля. Приведены классический подход к проведению независимой оценки рисков и предлагаемая методика оценки уровня безопасности персонала и объектов на основе управления рисками.

**В третьей главе** изложена предлагаемая методика по обеспечению безопасности работников с использованием средств спасения с высоты в зависимости от наступления опасных производственных факторов, а также

влияние устройств самоспасения на величину индивидуального риска и их значимость для ответственных лиц за охрану труда на производстве.

**В четвертой главе** приведена отработка предлагаемой методики на реально существующих объектах: обогатительной фабрике ООО «Горная обогатительная фабрика Анжерская» г. Анжеро-Судженска и здания шахтоучастка «Октябрьский» АО «Шахта «Заречная», расположенном по адресу: ул. Макаренко 2, г. Полысаево, Кемеровская область. Проведено аналитическое моделирование предлагаемого способа оценки обеспечения безопасности труда персонала и методики обеспечения их средствами спасения. Описаны временные и экономические затраты на обеспечение безопасности работников угольных предприятий от опасных производственных факторов.

**Пятая глава** посвящена анализу социально-экономической эффективности предлагаемой методики, описана ее универсальность.

**В заключении** обобщены результаты проведенных исследований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Основные результаты исследования отражены в следующих защищаемых положениях:

**1. Показателем определения эффективности мероприятий по обеспечению охраны труда работников и объектов защиты угольных предприятий от негативных производственных факторов является вероятностная мера наступления неблагоприятного события, определяемая как потенциальный риск гибели персонала.**

Способами и средствами по обеспечению безопасности труда работников (требованиями и мероприятиями) являются специальные условия социального и (или) технического характера, установленные в целях обеспечения безопасности законодательством Российской Федерации.

Система обеспечения безопасности угольного предприятия включает в себя систему предотвращения опасных производственных факторов, систему защиты персонала, а также комплекс организационно-технических мероприятий.

Система предотвращения опасных факторов влияет на риск их возникновения ( $R_{п}$ ), а система защиты влияет на риск гибели (травмирования) работников ( $R_{г}$ ). В свою очередь, комплекс организационно-технических мероприятий влияет как на риск возникновения негативных производственных факторов, так и на риск гибели (травмирования) персонала.

Под риском  $R$  понимается количественная характеристика опасности, определяемая частотой реализации опасностей. Это отношение числа неблагоприятных последствий, вызванных действием на персонал конкретной опасности ( $N$ , шт., чел.), к их возможному числу (количество объектов, работников) за определённый период ( $Q$ , шт., чел.).

С учетом общих понятий можно выделить статистический (фактический) и потенциальный риски возникновения производственных ситуаций.

Статистический (фактический) риск возникновения негативной производственной ситуации  $R_{п\text{ факт}}$  и гибели персонала  $R_{г\text{ факт}}$  можно

представить в следующих формулах (1.1), (1.2):

$$R_{п\text{ факт}} = \frac{N_{п}}{Q_{о}}, \quad (1.1)$$

где  $N_{п}$  – количество негативных производственных ситуаций, шт.;

$Q_{о}$  – количество объектов, шт.;

$$R_{г\text{ факт}} = \frac{N_{р}}{Q_{р}}, \quad (1.2)$$

где  $N_{р}$  – количество погибших (травмированных) работников, чел.;

$Q_{р}$  – общее количество работников на объектах, чел.

Потенциальный риск возникновения негативной производственной ситуации  $R_{п\text{ потенц}}$  и гибели работников  $R_{г\text{ потенц}}$  представлен в формулах (1.3), (1.4):

$$R_{п\text{ потенц}} = \frac{N_{о\text{ шт}}}{Q_{о}}, \quad (1.3)$$

где  $N_{о\text{ шт}}$  – количество объектов с отсутствующей (неисправной) системой предотвращения негативных производственных факторов и (или) комплексом организационно-технических мероприятий, шт.;

$Q_{о}$  – количество объектов, шт.;

$$R_{г\text{ потенц}} = \frac{N_{р\text{ шт}}}{Q_{р}}, \quad (1.4)$$

где  $N_{р\text{ шт}}$  – количество работников на объектах с отсутствующей (неисправной) системой производственной защиты и (или) комплексом организационно-технических мероприятий, шт.;

$Q_{р}$  – общее количество работников на угольных предприятиях, чел.

В теории вероятностей и математической статистике понятие вероятности формализуется как числовая характеристика события – вероятностная мера (или её значение) – мера на множестве событий (подмножеств множества элементарных событий), принимающая значения от 0 до 1. Значение 1 соответствует достоверному событию, невозможность его составляет 0.

Уровень безопасности по мероприятиям, направленным на предупреждение возникновения опасных трудовых факторов, принимает значения от 1 до 0, где 1 – уровень безопасности угольного предприятия соответствует предъявляемым требованиям.

Уровень безопасности по мероприятиям, направленным на предупреждение гибели (травмирования) работников опасных производственных факторов, принимает значения от  $10^{-6}$  до 0, где  $10^{-6}$  – уровень безопасности персонала соответствует предъявляемым требованиям.

Значение уровня обеспечения безопасности персонала отличается от объекта, так как допустимое нормативное значение риска гибели работников составляет  $10^{-6}$  в течение года.

С учетом вышеизложенного можно сделать следующие выводы по оценке соответствия объектов требованиям безопасности при их загорании:

При условии  $R_{п\text{ потенц}} > R_{п\text{ факт}}$  – мероприятия по обеспечению безопасности выполняются, имеющиеся нарушения требований по

обеспечению безопасности не влияют (малозначительно влияют) на состояние объекта. Если  $R_{п\text{ потенц}} < R_{п\text{ фактич}}$  – мероприятия по обеспечению безопасности не выполняются, имеющиеся нарушения требований безопасности на предприятии отрицательно влияют на безопасное состояние объекта.

В свою очередь, при условии  $10^{-6} > R_{г\text{ потенц}} > R_{г\text{ фактич}}$  – мероприятия по обеспечению безопасности работников выполняются, имеющиеся нарушения, направленные на обеспечение безопасности персонала, влияют на их безопасность на приемлемом уровне. В случае, если  $10^{-6} < R_{г\text{ потенц}} < R_{г\text{ фактич}}$  – мероприятия по обеспечению безопасности работников не выполняются, имеющиеся нарушения отрицательно влияют на безопасность персонала.

Вышеизложенное возможно представить в виде схемы 1.1:

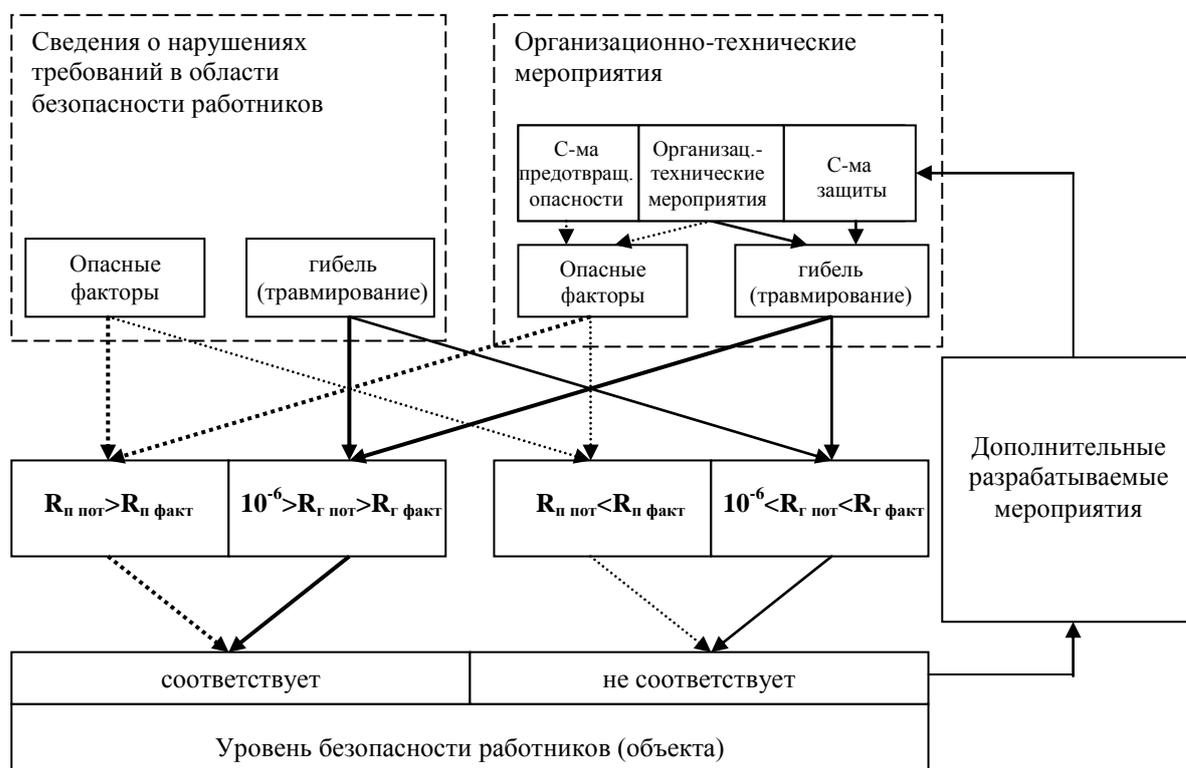


Схема 1.1 – Реализация необходимого уровня безопасности с учетом потенциального и фактического рисков возникновения негативных производственных факторов

Показателем для определения влияния мероприятий по обеспечению безопасности работников и объектов защиты угольных предприятий является вероятностная мера наступления неблагоприятного производственного события, определенная как потенциальный риск возникновения негативного производственного фактора и гибели работников от него.

Применение данной методики оценки уровня безопасности возможно не только для собственников, но и для органов, осуществляющих оценку соответствия объекта установленным требованиям по обеспечению безопасности труда. Данная методика проста в применении, в ней отсутствуют

сложные математические расчеты, требуется минимальное количество исходных данных.

**2. Введенный коэффициент безопасности охраны труда, основанный на расчетном времени выхода работников из опасной зоны наземных зданий и сооружений угольной отрасли, позволяет определить влияние технических характеристик средств спасения на расчетную величину индивидуального риска гибели персонала угольной промышленности.**

В настоящее время при определении необходимого количества спасательных устройств на предприятиях угольной промышленности не учитывается время наступления опасных производственных факторов. В расчетах используются технические характеристики устройств, таких как время активации, подготовки и спуска, количество спасаемых работников и высота спуска.

Так, необходимое количество однотипных спасательных устройств, установленных в одном месте, рассчитывается по следующей формуле:

$$n = \frac{N}{Q \cdot t_{\text{спас}}}, \quad (2.1)$$

где  $n$  – количество спасательных устройств одного типа, шт.;

$N$  – расчетное количество работников, не имеющих возможности покинуть здание и (или) сооружение в штатном режиме, чел.;

$Q$  – пропускная способность (производительность) спасательного устройства, чел./мин.;

$t_{\text{спас}}$  – время спасения персонала, т. е. общее время, затрачиваемое спасаемыми на движение до места применения средства спасения, на подготовку работника к спуску (прыжку) на спасательном устройстве после спуска (прыжка) предыдущего работника, на его спуск на спасательном устройстве до безопасного уровня, а также на активацию спасательного устройства, мин.

Производительность канатно-спускных устройств  $Q$ , чел./мин., для одного спасаемого является переменной величиной в зависимости от высоты и может быть определена по следующей формуле:

$$Q = \frac{1}{t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}}}, \quad (2.2)$$

где  $t_{\text{подг}}$  – время подготовки одного работника к спуску (прыжку) на спасательном устройстве после спуска (прыжка) предыдущего работника, зависящее от сложности устройства средства самоспасения, мин.;

$t_{\text{спуск}}$  – время спуска одного работника на спасательном устройстве до безопасного уровня, зависящее от высоты и скорости спуска, мин; где, в свою очередь,  $t_{\text{спуск}} = H_{\text{спуск}} / V_{\text{спуск}}$ ;  $H_{\text{спуск}}$  – высота спуска, м;  $V_{\text{спуск}}$  – скорость спуска, м/мин.

Время спасения персонала, при котором на них перестанут действовать опасные производственные факторы, определяется по следующей формуле:

$$t_{\text{спас}} = t_{\text{в}} + t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}} + t_{\text{актив}}, \quad (2.3)$$

где  $t_{\text{в}}$  – время от начала движения работников до места применения средства спасения, мин.;

$t_{\text{актив}}$  – время, затрачиваемое на активацию спасательного устройства, т. е. время приведения средства самоспасения в состояние, готовое к использованию, мин.

В свою очередь,  $t_{\text{подг}}$ ,  $t_{\text{спуск}}$  и  $t_{\text{актив}}$  являются исходными показателями технических характеристик спасательных устройств с высоты (далее – технические характеристики средств спасения).

Безопасность персонала обеспечивается при передвижении их в безопасную зону до наступления опасных производственных факторов, т. е. условия эвакуации работников выполняются при реализации следующего неравенства:

$$t_{\text{в}} < t_{\text{рофп}} \Rightarrow t_{\text{в}}/t_{\text{рофп}} < 1.$$

Из данного неравенства следует, что  $1 - t_{\text{в}}/t_{\text{рофп}} > 0$ . В данном случае эвакуация выполняется до наступления опасных производственных факторов при значении  $1 - t_{\text{в}}/t_{\text{рофп}}$  выше нуля.

По аналогии, условия эвакуации персонала не выполняются при реализации следующего неравенства:  $t_{\text{в}} \geq t_{\text{рофп}} \Rightarrow t_{\text{в}}/t_{\text{рофп}} \geq 1$ . Из данного неравенства следует, что  $1 - t_{\text{в}}/t_{\text{рофп}} \leq 0$ . В данном случае эвакуация не выполняется до наступления опасных факторов производства при значении  $1 - t_{\text{в}}/t_{\text{рофп}}$  ниже (равно) нуля.

С учетом вышеизложенных условий эвакуации введем коэффициент безопасности охраны труда (К), равный  $1 - t_{\text{в}}/t_{\text{рофп}}$ , основанный на условии обеспечения безопасности работников:

$$K = 1 - \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{рофп}}}, \quad (2.4)$$

где  $t_{\text{в}}$  – время выхода персонала в безопасную зону или места возможного применения средств спасения до наступления опасных факторов, мин.;

$t_{\text{рофп}}$  – время, которое возможно предварительно рассчитать для объектов от начала распространения опасных производственных факторов до наступления опасных факторов, имеющих предельно допустимые для работников значения, мин.

В целях определения необходимого количества однотипных спасательных устройств (n, шт.) в зависимости от времени наступления негативных последствий ( $t_{\text{рофп}}$ , мин.) проделаем преобразования ранее приведенных формул (2.1), (2.2), (2.3), (2.4).

В формулу (2.1) подставим выражение (2.2):

$$n = \frac{N}{\left(\frac{1}{t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}}}\right) \cdot t_{\text{спас}}} \Rightarrow n = \frac{N \cdot (t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}})}{t_{\text{спас}}}. \quad (2.5)$$

Затем в выражение (2.5) подставим формулу (2.3):

$$n = \frac{N \cdot (t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}})}{t_{\text{в}} + t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}} + t_{\text{актив}}}. \quad (2.6)$$

Прделаем следующее преобразование формулы (2.4):

$$K = 1 - \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{рофп}}} \Rightarrow \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{рофп}}} = 1 - K \Rightarrow t_{\text{в}} = t_{\text{рофп}} \cdot (1 - K). \quad (2.7)$$

Подставив значение  $t_b$  формулы (2.7) в формулу (2.6) получим, что выражение по определению необходимого количества однотипных спасательных устройств ( $n$ , шт.) в зависимости от времени наступления негативных последствий ( $t_{\text{рофп}}$ , мин.) примет вид:

$$n = \frac{N \cdot (t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}})}{t_{\text{рофп}} \cdot (1 - K) + t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}} + t_{\text{актив}}} . \quad (2.8)$$

Выражение (2.8) позволяет обосновать необходимое количество средств спасения ( $n$ , шт.), исходя из расчетных значений опасных производственных факторов ( $t_{\text{рофп}}$ ) и технических характеристик спасательных устройств ( $t_{\text{подг}}$ ,  $t_{\text{спуск}}$  и  $t_{\text{актив}}$ , мин.).

Средства спасения с высоты рассмотрены как компенсирующее мероприятие по обеспечению безопасности работников при невозможности их эвакуации в штатном режиме, в связи с чем их необходимо рассматривать как мероприятия подсистемы защиты, не входящей в процесс эвакуации.

С учетом вероятностных критериев, преобразовав формулу (2.8) по определению необходимого количества однотипных спасательных устройств ( $n$ ), вероятности спасения персонала с использованием средств спасения с высоты  $P'_{\text{сп}}$  и ранее введенного коэффициента безопасности охраны труда ( $K$ ), получим:

$$P'_{\text{сп}} = 1 + \frac{t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}} + t_{\text{актив}}}{t_{\text{рофп}}} - \frac{N \cdot (t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}})}{n \cdot t_{\text{рофп}}} . \quad (2.9)$$

Данная формула эффективна при наличии такого количества средств спасения ( $n$ ), при котором вероятность спасения персонала  $P'_{\text{сп}}$  находится в интервале от 0 до 0,999, т. к. вероятность не может принимать отрицательные значения или быть более единицы.

Наибольший уровень вероятности 0,999 самоспасения персонала с помощью средств спасения принят по аналогии с вероятностью эвакуации работников в штатном режиме.

Вместе с тем процесс самоспасения работников должен завершиться до наступления опасных производственных факторов, т. е. необходимо знать время, затрачиваемое на спасение персонала посредством спасательных устройств. Для этого преобразуем полученную формулу (2.5):

$$n = \frac{N \cdot (t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}})}{t_{\text{спас}}} \Rightarrow t_{\text{спас}} = \frac{N \cdot (t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}})}{n} . \quad (2.10)$$

Формула (2.10) определяет непосредственное затрачиваемое время на спасение, не учитывая время, затрачиваемое на активацию каждого спасательного устройства. Так, для устранения данного недостатка необходимо время спасения увеличить на время подготовки спасательного устройства с учетом их количества ( $n$ , шт.) и количества работников, задействованных в процессе самоспасения ( $N$ , чел.), при этом формула (2.10) примет вид

$$t_{\text{спас}} = \frac{N \cdot (t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}})}{n} + \frac{n \cdot t_{\text{актив}}}{N} . \quad (2.11)$$

Полученная формула (2.11) позволяет рассчитать время, затрачиваемое на спасение персонала посредством спасательных устройств ( $t_{\text{спас}}$ , мин.), с учётом

технических характеристик устройств ( $t_{\text{подг}}$ ,  $t_{\text{спуск}}$ ,  $t_{\text{актив}}$ , мин.), их количества ( $n$ , шт.) и количества работников, подлежащих самоспасению ( $N$ , чел.).

С учетом вышеизложенного опишем область возможного применения расчетов по определению вероятности спасения персонала с помощью средств спасения с высоты ( $P'_{\text{сп}}$ ).

Вероятность спасения работников с помощью средств спасения с высоты принимает наибольшее значение, равное 0,999 при завершении процесса самоспасения до наступления опасных производственных факторов, т. е. при следующем условии:

$$t_{\text{спас}} < t_{\text{рофп}} \cdot \quad (2.12)$$

Вероятность спасения работников с помощью средств самоспасения ( $P'_{\text{сп}}$ ) принимает наименьшее значение, равное нулю при недостаточном количестве спасательных устройств, позволяющих обеспечить безопасность персонала до наступления опасных факторов, что можно описать следующим условием:

$$n \leq \frac{N \cdot (t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}})}{t_{\text{рофп}} + t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}} + t_{\text{актив}}}. \quad (2.13)$$

Данное условие (2.13) выведено из формулы (2.8) при значении коэффициента безопасности охраны труда ( $K$ ), равном нулю, т. е. при минимально необходимом выполнении условия обеспечения безопасности работников в момент наступления опасных производственных факторов ( $t_{\text{в}} = t_{\text{рофп}}$ ).

Далее определим вероятность спасения группы персонала с помощью средств самоспасения ( $P'_{\text{сп}}$ ) при условии, что не все успеют завершить процесс самоспасения до наступления опасных факторов, с учетом области эффективного применения необходимого количества средств спасения, когда значение коэффициента пожаробезопасности ( $K$ ) от 0 до 0,999. Данное условие математически описывается следующими выражениями:

$$t_{\text{спас}} > t_{\text{рофп}} \quad (2.14)$$

и

$$n(\text{при } K=0,999) > n > n(\text{при } K=0), \quad (2.15)$$

$$\text{Где } n(\text{при } K = 0,999) = \frac{N \cdot (t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}})}{0,001 \cdot t_{\text{рофп}} + t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}} + t_{\text{актив}}};$$

$$n(\text{при } K = 0) = \frac{N \cdot (t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}})}{t_{\text{рофп}} + t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}} + t_{\text{актив}}}.$$

Учитывая описанные области эффективного применения спасательных устройств, вероятность спасения работников с высоты ( $P'_{\text{сп}}$ ) примет одно из трех значений: 0; 0,999 и промежуточное значение от 0 до 0,999, что математически можно описать следующими условиями:

$$P'_{\text{сп}} = 0,999, \text{ при условии } t_{\text{спас}} < t_{\text{рофп}} \quad (2.16)$$

$$P'_{\text{сп}} = 1 + \frac{t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}} + t_{\text{актив}}}{t_{\text{рофп}}} - \frac{N \cdot (t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}})}{n \cdot t_{\text{рофп}}},$$

$$\text{при условии } t_{\text{спас}} > t_{\text{рофп}} \text{ и } n(\text{при } K=0,999) > n > n(\text{при } K=0) \quad (2.17)$$

$$P'_{\text{сп}}=0, \text{ при условии } n \leq \frac{N \cdot (t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}})}{t_{\text{рофп}} + t_{\text{подг}} + t_{\text{спуск}} + t_{\text{актив}}}. \quad (2.18)$$

В свою очередь, расчетная величина индивидуального риска  $Q_B$ , с учетом вероятности самоспасения работников посредством спасательных устройств  $P'_{\text{сп}}$ , примет вид:

$$Q_B = Q_{\text{п}} \cdot (1-K_{\text{ап}}) \cdot P_{\text{пр}} \cdot (1-P_{\text{э}}) \cdot (1-K_{\text{п.з}}) \cdot (1-P'_{\text{сп}}), \quad (2.19)$$

где  $Q_{\text{п}}$  – частота возникновения негативных факторов в здании в течение года;

$K_{\text{ап}}$  – коэффициент, учитывающий автоматическую ликвидацию опасных производственных факторов;

$P_{\text{пр}}$  – вероятность присутствия персонала;

$P_{\text{э}}$  – вероятность эвакуации работников;

$K_{\text{п.з}}$  – коэффициент, учитывающий систему защиты;

$P'_{\text{сп}}$  – вероятность эффективного применения спасательных устройств.

Хотелось бы отметить, что, как правило, внезапно наступающие опасные производственные факторы на персонал оказывают значительное психологическое воздействие, особенно на работников, находящихся в загоревшемся здании, и у которых нет возможности покинуть его в штатном режиме. В связи с этим увеличивается время на подготовку к применению средства спасения, также происходит задержка при непосредственном их использовании в процессе самоспасения. Впоследствии это негативно влияет на общее время применения соответствующих средств, которое учитывается при определении вероятности спасения  $P'_{\text{сп}}$ . Для этого необходимо учитывать дополнительные критерии, влияющие на самоспасение работников, и степень их влияния на негативные риски.

С учетом дополнительных критериев индивидуальный риск примет вид

$$Q_B = Q_{\text{п}} \cdot (1-K_{\text{ап}}) \cdot P_{\text{пр}} \cdot (1-P_{\text{э}}) \cdot (1-K_{\text{п.з}}) \cdot (1-P'_{\text{сп}}) \cdot (1-P^{\text{доп}}), \quad (2.20)$$

где  $P^{\text{доп}}$  – среднее значение суммы введенных дополнительных критериев для каждого работника ( $K^{\text{доп}}$ ), рассчитываемых по формуле:

$$P^{\text{доп}} = \frac{K_{\text{м.возраст}}^{\text{доп}} + K_{\text{ж.возраст}}^{\text{доп}} + K_{\text{м.физ}}^{\text{доп}} + K_{\text{ж.физ}}^{\text{доп}} + K_{\text{м.психол.}}^{\text{доп}} + K_{\text{ж.психол.}}^{\text{доп}} + K_{\text{м.погод.}}^{\text{доп}} + K_{\text{ж.погод.}}^{\text{доп}} + K_{\text{м.внезап.}}^{\text{доп}} + K_{\text{ж.внезап.}}^{\text{доп}}}{n^{\text{доп}}} \quad (2.21)$$

или

$$P^{\text{доп}} = \frac{\sum_{\text{доп}} K^{\text{доп}}}{n^{\text{доп}}},$$

где  $n^{\text{доп}}$  – количество дополнительных введенных коэффициентов, влияющих на психофизическое состояние персонала.

В данном положении предложен коэффициент безопасности охраны труда, основанный на расчетном времени безопасного выхода работников из опасной зоны и наступления в ней опасных производственных факторов, позволяющий определить влияние технических характеристик средств спасения на расчетную величину индивидуального риска гибели работников угольной промышленности. Средства спасения рассматриваются как дополнительные системы защиты, позволяющие обеспечить безопасность

работников, не успевших своевременно покинуть здание до момента блокирования путей эвакуации.

**3. Расчетная величина индивидуального риска гибели работников от способа их спасения описывается математически функциональной зависимостью и позволяет оценить охрану труда и безопасность работников с учетом количества применяемых спасательных устройств, а также от физического и психологического состояния персонала.**

Результативность метода прогнозирования и управления рисками с применением средств спасения работников на угольных предприятиях необходимо рассматривать с точки зрения социально-экономической эффективности. В целях достижения жизнеспособности метода должна обеспечиваться безопасность работников с использованием наиболее эффективных и менее дорогостоящих систем.

Эффективность предлагаемой оценки будет состоять из 4 пунктов:

1. Отсутствуют сложные математические расчеты.  
2. Установлен качественный показатель оценки безопасности персонала при возникновении негативных опасных факторов – коэффициент безопасности охраны труда.

3. С введением данного показателя появилась возможность сопряжения характеристик средств спасения с параметрами наступления опасных производственных факторов.

4. Применение данной оценки позволило разработать способ обеспечения персонала средствами спасения для сохранения их жизни и здоровья.

Коэффициент безопасности охраны труда равен нулю ( $K=0$ ), т. к. данное условие отражает минимально необходимое количество средств спасения работников. Таким образом, расчеты по определению минимально необходимого количества средств спасения возможно свести в таблицу (таблица 3.1).

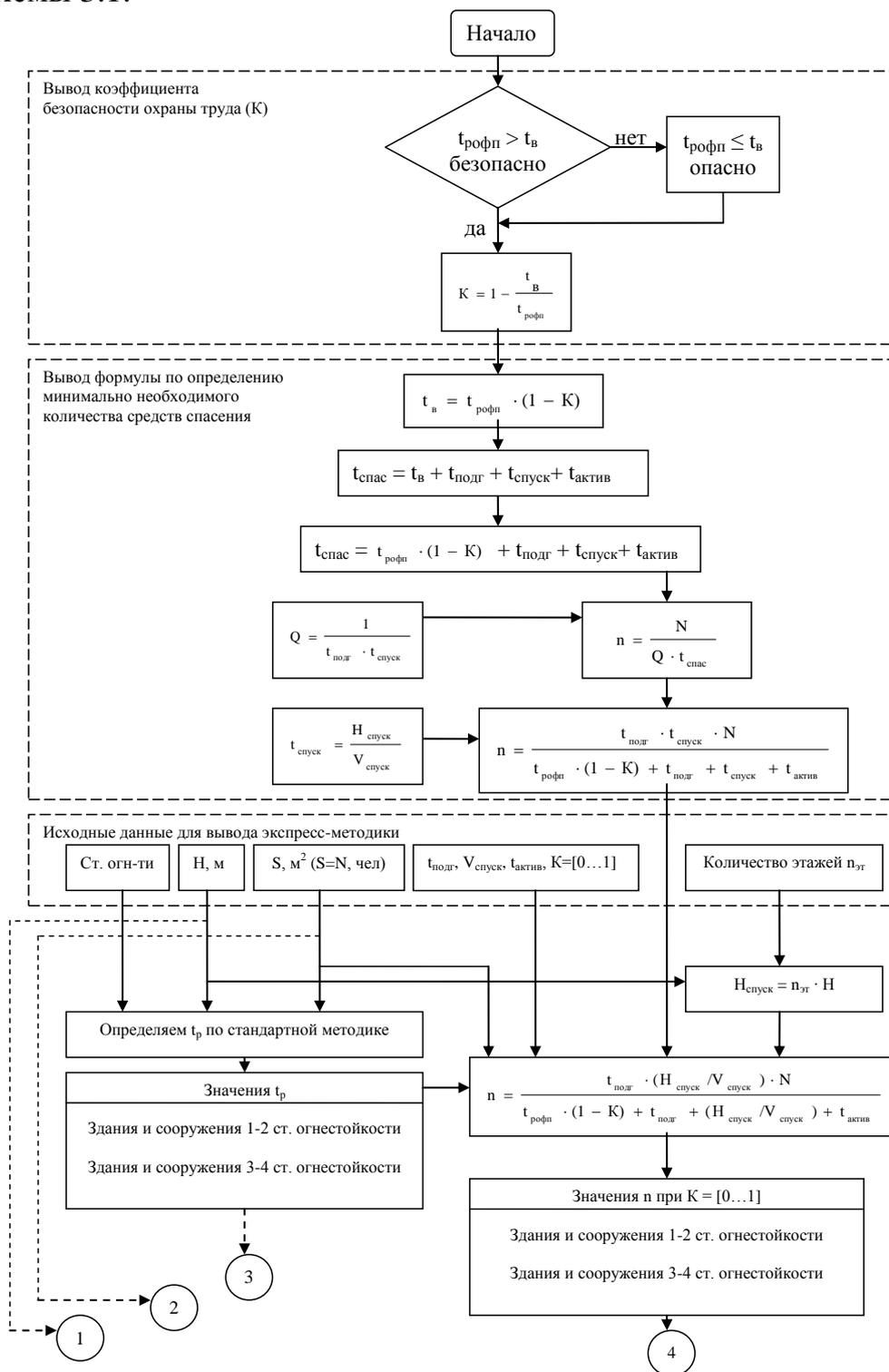
Таблица 3.1 – Определение минимально необходимого количества канатно-спусковых устройств с автоматическим регулированием скорости спуска ( $n$ , шт.) в зависимости от параметров здания и площади помещения ( $S$ ,  $m^2$ )

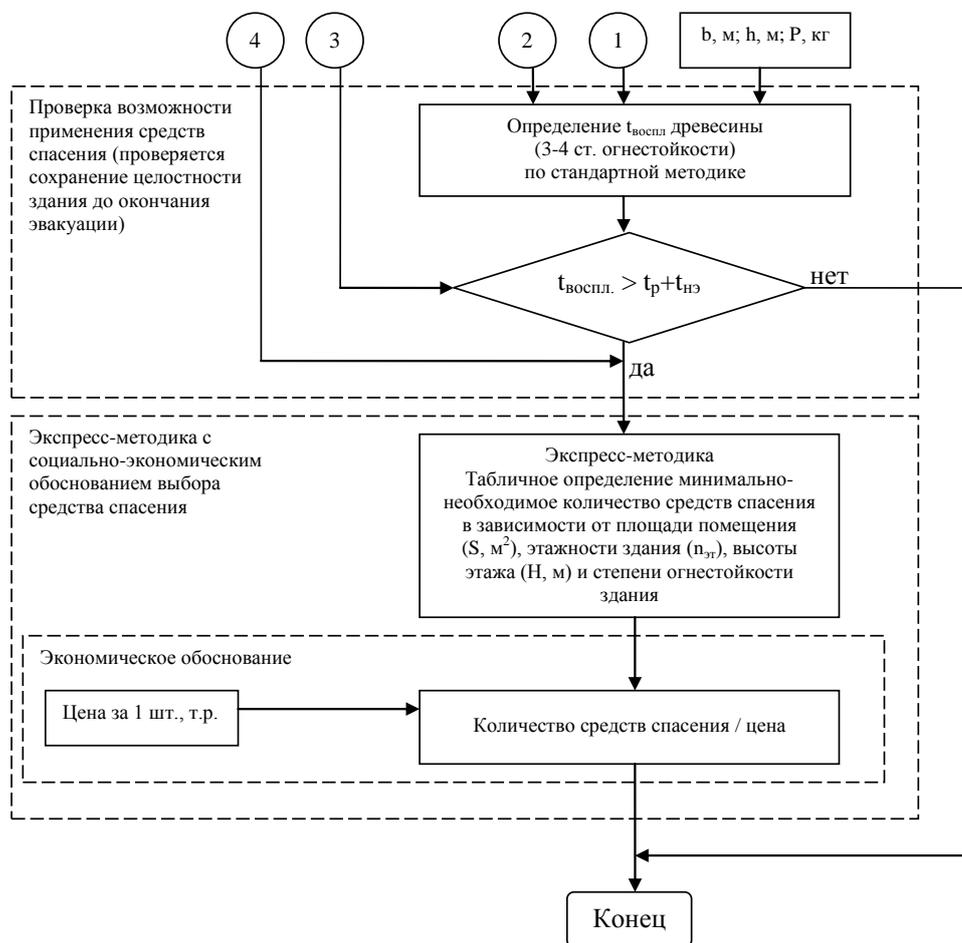
Параметры здания			Количество средств спасения ( $n$ ), шт.														Показатель определения средств спасения ( $n$ ), шт.
			Площадь помещения ( $S$ ), $m^2$														
Высота этажа ( $H$ ), м	Степень устойчивости здания	Этаж расположения помещения	10, $m^2$	20, $m^2$	30, $m^2$	40, $m^2$	50, $m^2$	60, $m^2$	70, $m^2$	80, $m^2$	90, $m^2$	100, $m^2$	200, $m^2$	300, $m^2$	400, $m^2$	500, $m^2$	
			3	1-2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	6	9	12
3	1	1			2	2	3	3	4	4	5	9	13	17	21	$n = 0,04145 \cdot S + 0,4402$	
4	1	1			2	3	3	4	4	5	6	6	12	17	23	28	$n = 0,05573 \cdot S + 0,4523$
5	1	2			2	3	4	5	5	6	7	8	15	22	28	35	$n = 0,06964 \cdot S + 0,5144$
3-4	2	1		1	1	2	2	3	3	3	3	4	7	11	14	18	$n = 0,03578 \cdot S + 0,0166$
	3	1		1	2	2	3	3	4	4	5	5	11	16	21	26	$n = 0,05202 \cdot S + 0,1831$
	4	1		1	2	3	4	4	5	6	6	7	14	21	27	34	$n = 0,06783 \cdot S + 0,1952$
	5	1		2	3	4	4	5	6	7	8	9	17	25	34	42	$n = 0,08354 \cdot S + 0,292$

Данные табличные показатели являются методикой определения минимально необходимого количества средств спасения по сводным табличным значениям.

Как мы видим, довольно просто определить необходимое количество средств спасения исходя из площади помещений и элементарных параметров здания (устойчивость здания, этаж, высота этажа).

Для наиболее наглядного применения разработанного способа алгоритм социально-экономического выбора средств спасения можно представить в виде блок-схемы 3.1.





Блок-схема 3.1 – Методика социально-экономического выбора средства спасения

Установленная зависимость процесса влияния средств спасения на расчетную величину индивидуального риска гибели персонала позволяет оценить социальную и экономическую эффективность способов и средств обеспечения безопасности, сохранения здоровья работников угольных предприятий.

### Заключение

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований решена научная задача, заключающаяся в обеспечении безопасности работников угольных предприятий с помощью средств спасения с высоты, имеющая важное социально-экономическое значение, внедрение которой вносит значительный вклад в развитие угольной промышленности страны.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Установлена вероятностная величина наступления неблагоприятного события, определенная как потенциальный риск возникновения негативного производственного фактора и гибели персонала, являющаяся показателем по определению влияния мероприятий на обеспечение безопасности работников и объектов защиты угольных предприятий.

2. Определено влияние технических характеристик средств спасения, выраженных во времени их активации, подготовки и спуска, на расчетную величину индивидуального риска гибели работников угольной промышленности посредством введения коэффициента безопасности охраны труда, основанного на расчетном времени безопасного выхода персонала из опасной зоны и наступления в ней опасных факторов.

3. Предложена оценка социальной и экономической эффективности способов и средств обеспечения безопасности, сохранения здоровья работников угольных предприятий на основе моделирования зависимости расчетной величины индивидуального риска от способа спасения персонала посредством спасательных устройств.

4. Разработана методика прогноза оценки уровня безопасности работников и объектов при возникновении негативных производственных факторов, позволяющая установить меру влияния способов и средств обеспечения безопасности (требований, мероприятий) на сохранение жизни и здоровья работников.

5. Исследования позволяют разработать справочные каталоги выбора средств спасения с высоты в зависимости от их технических характеристик и расчетного времени наступления опасных производственных факторов с учетом социально-экономической эффективности применения данных средств.

6. Результаты исследований позволяют наглядно показать дополнительные параметры, положительно влияющие на состояние объектов, а также на расчетную величину индивидуального риска гибели персонала, что будет актуально при использовании в учебном процессе по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», а также при переподготовке и повышении квалификации работников предприятий угольной отрасли, ответственных за охрану труда и пожарную безопасность.

### **Публикации по теме диссертации**

#### **В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:**

1. Пашкевич Н.А. Анализ состояния техносферной безопасности в России / Н.А. Пашкевич, Д.А. Бесперстов, В.А. Зубарева, Ю.И. Иванов, Е.А. Расщепкина // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – № 1. – С. 161-165.

2. Зубарева В.А. К вопросу обеспечения пожарной безопасности людей на объектах / В.А. Зубарева, Д.А. Бесперстов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – № 2. – С. 29-32.

3. Фомин А.И. Оценка пожарной безопасности и обеспечение средствами спасения при возникновении пожаров работников угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий Кемеровской области / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2015. – № 1. – С. 24-30.

4. Фомин А.И. Актуальность разработки и совершенствования способа повышения безопасности работников на угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях Кузбасса / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов

// Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2015. – № 1. – С. 62-66.

5. Фомин А.И. Средства и способы самоспасения при пожарах в зданиях технологических комплексов предприятий угольной отрасли / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2015. – № 2. – С. 84-89.

6. Фомин А.И. Реализация нормативно-правовых требований и принципы действий норм в области пожарной безопасности / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2015. – № 4. – С. 85-88.

7. Иванов Ю.И. Пожарная безопасность людей при их эвакуации из зданий и сооружений угольных предприятий / Ю.И. Иванов, Д.А. Бесперстов, Т.А. Туманова // Вестник Международной Академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – 2015. – № 1. – С. 113-115.

8. Фомин А.И. Оценка уровня пожарной безопасности на угольных предприятиях с учетом риск-ориентированного подхода / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов, В.Б. Попов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2016. – № 1. – С. 62-66.

9. Фомин А.И. Методика использования средств спасения людей с высоты при пожарах / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2017. – № 4. – С. 42-51.

10. Фомин А.И. Обеспечение пожарной безопасности при скрытых рисках гибели людей на угольных предприятиях / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов, В.Б. Попов, С.Ю. Сайбель // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2018. – № 1. – С. 67-74.

11. Бесперстов Д.А. Критерии, влияющие на время и вероятность обеспечения безопасности работников посредством средств спасения / Д.А. Бесперстов, А.И. Фомин, В.В. Соболев, В.Г. Игишев, А.М. Ермолаев // Безопасность труда в промышленности. – 2018. – № 9. – С. 78-84.

**В прочих изданиях:**

12. Besperstov D.A. (*Бесперстов Д.А.*) Reforming of regulatory base on fire safety in Post-Soviet Russia. (*Реформирование нормативной базы по пожарной безопасности в постсоветской России*) / D.A. Besperstov, N.A. Pashkevich, U.I. Ivanov, A.O. Konovalova Д.А. (*Бесперстов, Н.А. Пашкевич, Ю.И. Иванов, А.О. Коновалова*) // «European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches»: Papers of the 1st International Scientific Conference. December 17-19, 2012, Stuttgart, Germany. 488 p. – С. 72-81.

13. Фомин А.И. Риски гибели людей от пожаров на поверхности угольных предприятий / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: сборник материалов XI Межд. научно-практ. конференции (время проведения 01.11.2015). – Кемерово: КузГТУ, 2015. – С. 70-71.

14. Фомин А.И. Обеспечение пожаробезопасности угольных предприятий Кузбасса в современных условиях / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы:

сборник материалов IX международной научно-практической конференции молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) (время проведения 2 – 3 апреля 2015). – Минск: КИИ, 2015. – С. 12-13.

15. Фомин А.И. Повышение пожарной безопасности работников угольной отрасли Кузбасса / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов // Фундаментальные и прикладные проблемы в горном деле: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Междуреченск: КузГТУ, 2016. – С. 65-66.

16. Фомин А.И. Разработка методики оценки пожарной безопасности объекта на предприятиях угольной промышленности / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов // Охрана труда и пожарная безопасность. – 2016. – № 12. – С. 75-78.

17. Фомин А.И. Влияние опасных факторов пожара на людей с учетом применения ими средств индивидуальной защиты / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов // Россия молодая: сборник материалов X Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых (время проведения 30.01.2018). – Кемерово: КузГТУ, 2018. – С. 10117-1 – 10117-5.

18. Фомин А.И. Влияние средств спасения с высоты на риск гибели людей при пожарах в зданиях / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: Материалы XII Междунар. науч. - практ. конф. [Электронный ресурс] (время проведения 22 – 23 ноября 2017). – Кемерово: КузГТУ, 2017. – С. 221.1-221.7.

Подписано в печать 27.09.2018.

Формат 60x84/16.

Бумага – офсетная.

П. л. – 1.

Способ печати – оперативный.

Тираж 100 экз.

Отпечатано с готового авторского макета ООО «ВВС-А».  
650099, г. Кемерово, ул. Д. Бедного, 1, оф. 423, т. (3842) 36-86-90.