

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
 ООП/ОПОП: Защита в чрезвычайных ситуациях
 Отделение контроля и диагностики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Повышение эффективности работы шахтной системы вентиляции при чрезвычайной ситуации

УДК 1 622.42/.46-047.44:614.8

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E91	Некрасова Алена Владимировна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД	Назаренко О. Б.	Д.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук И.В.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вторушина А.Н.	К.Х.Н.		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП
по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном (-ых) языке (-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен использовать базовые дефектологические знания в социальной и профессиональных сферах
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
УК(У)-12	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен учитывать современные тенденции развития техники и технологий в области техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий при решении типовых задач в области профессиональной деятельности, связанной с защитой окружающей среды и обеспечением безопасности человека
ОПК(У)-2	Способен обеспечивать безопасность человека и сохранение окружающей среды, основываясь на принципах культуры безопасности и концепции риск-ориентированного мышления
ОПК(У)-3	Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом государственных требований в области обеспечения безопасности
ОПК(У)-4	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
Общепрофессиональные компетенции университета	

ДОПК(У)-1	Способен ориентироваться в основных методах и системах обеспечения техносферной безопасности, обоснованно выбирать известные устройства, системы и методы защиты человека и окружающей среды
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен к выполнению работ по обеспечению безопасности объектов защиты
ПК(У)-2	Способен к использованию знаний при разработке мероприятий по обеспечению безопасности объектов экономики
ПК(У)-3	Способен к управлению системами обеспечения безопасности в структурных подразделениях организации
ПК(У)-4	Способен определять степень риска в зонах воздействия опасных природных и техногенных факторов
ПК(У)-5	Готов осуществлять проверки безопасного состояния объектов различного назначения, участвовать в экспертизах их безопасности, регламентированных действующим законодательством Российской Федерации

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
20.03.01 Техносферная безопасность
_____ А.Н. Вторушина
02.02.2023 г.

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
1E91	Некрасовой Алене Владимировне

Тема работы:

Повышение эффективности шахтной системы вентиляции при чрезвычайной ситуации	
Утверждена приказом (дата, номер)	№13-54/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2023 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: вентиляционная система шахты «Березовская».
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке)	1. Выполнить анализ аварий на объектах угледобывающей промышленности. 2. Дать характеристику рудничной атмосфере, вентиляционной системе шахт, рискам в угольной промышленности. 3. Выполнить анализ наиболее вероятных сценариев развития аварий на исследуемом объекте и произвести расчёты. 4. Предложить рекомендации по повышению эффективности шахтной вентиляционной системы на угольной шахте.
Перечень графического материала	Презентация

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	02.02.2023 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД	Назаренко О.Б.	д.т.н.		02.02.2023 г.

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е91	Некрасова Алена Владимировна		02.02.2023 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Уровень образования бакалавриат
Отделение контроля и диагностики
Период выполнения весенний семестр 2022/2023 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
1E91	Некрасова Алена Владимировна

Тема работы:

Повышение эффективности шахтной системы вентиляции при чрезвычайной ситуации

Срок сдачи студентом выполненной работы:

05.06.2023 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
21.02.2023	Введение. Определение цели и задач	20
14.03.2023	Обзор литературы	10
28.03.2023	Объект исследования	15
11.04.2023	Практическая часть	15
02.05.2022	Разработка рекомендаций	10
16.05.2023	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
02.06.2021 г.	Оформление и представление ВКР	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД	Назаренко О.Б.	Д.Т.Н.		02.02.2023

СОГЛАСОВАНО:**Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вторушина А.Н.	к.х.н.		02.02.2023

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е91	Некрасова Алена Владимировна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит: 87 с., 6 рис., 28 табл., 56 источников.

Ключевые слова: аварий, шахта, чрезвычайная ситуация, шахтная вентиляция, отказ.

Предметом исследования является разработка рекомендаций по повышению эффективности шахтной системы вентиляции на АО «Угольная компания «Северный Кузбасс» шахта «Березовская».

Цель работы: выполнить оценку возникновения аварийной ситуации в системе шахтной вентиляции и разработать рекомендации по повышению эффективности шахтной вентиляционной системы на опасном производственном объекте угледобывающей промышленности.

В процессе исследования проводились: анализ литературных данных, научных и нормативных документов.

В результате исследования разработаны и предложены рекомендации по повышению эффективности шахтной вентиляционной системы на угледобывающем предприятии.

Область применения: угледобывающая промышленность.

Экономическая эффективность работы заключается в уменьшении материальных затрат при возникновении аварийной ситуации.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	12
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	14
1 АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	15
1.1 Виды чрезвычайных ситуаций в угольной промышленности	15
1.2 Характеристика угольных шахт как опасного производственного объекта ...	19
1.3 Статистика аварий на угольных шахтах, в угольной промышленности.....	20
1.4 Анализ причин чрезвычайных ситуаций на угольных шахтах	21
1.5 Классификация рисков в угольной промышленности	24
2 ШАХТНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ	27
2.1 Состав и свойства шахтного воздуха	30
2.2 Требования по проветриванию подземных выработок	33
2.3 Типы шахтных вентиляторов	36
2.4 Методы оценки аэрологического риска на угольных шахтах.....	39
3 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДПРИЯТИЯ И МЕТОД АНАЛИЗА.....	42
3.1 Характеристика шахты «Березовская».....	42
3.2 Построение дерева событий для отказа главного шахтного вентилятора	45
3.3 Рекомендации по повышению эффективности работы шахтной вентиляции	51
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	54
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	55
Введение	55
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	55
4.1.1 Анализ конкурентных решений	55
1.1.2. SWOT-анализ	57

4.2	Планирование работ по научно-техническому исследованию	59
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	59
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	60
4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования	61
4.3	Бюджет научного исследования.....	63
4.3.1	Расчет материальных затрат НИ	63
4.3.2	Расчет амортизации специального оборудования	63
4.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды	66
4.3.6	Накладные расходы	66
4.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	67
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	67
	Вывод по разделу.....	69
	ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	71
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	73
	Введение	73
5.3	Механические опасности, связанные с движущимися машинами и механизмами	75
5.4	Электрический ток	76
5.5	Образование взрывоопасной среды.....	77
5.6	Повышенный уровень шума.....	77
5.7	Повышенный уровень общей вибрации.....	78
5.8	Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	78
5.9	Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе.....	79
5.10	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	79
5.11	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	81
	Выводы по разделу	81
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	83

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	84
-------------------------	----

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время угольная промышленность считается одной из самых сложных и опасных промышленных предприятий России. Способы добычи полезного ископаемого подразделяются на два вида: карьерный способ добычи (открытый) и шахтный метод добычи (подземный). Одним из самых трудоемких и опасных методов добычи является шахтный. Из-за значительной глубины шахт, которые могут достигать глубины до одного километра и более, а также сложного технологического оборудования, данный вид добычи должен быть безопасным и надёжным для работников угольной промышленности.

Большинство технологических процессов при шахтном методе добычи в угольной промышленности сопровождаются выбросами газа метана, загазованностью выработок и другими чрезвычайными ситуациями.

Одним из самых опасных для шахтной атмосферы является газ метан. Данный газ способен воспламениться и взрываться в различных концентрациях, но для шахтной атмосферы опасной концентрацией считается 8-9% по объему. Взрыв метана сопровождается воздушной взрывной волной, которая разрушает большую часть выработок, а также метан крайне опасен для человека.

Самым эффективным способом снижения концентрации метана в горных выработках для безопасного ведения всех работ является шахтная (рудничная) вентиляция [1]. Шахтная система вентиляции – это сложная техническая система, от надёжности и эффективности которой зависит функционирование объекта и безопасность работников. В соответствии с действующими «Правилами безопасности в угольных шахтах» проветривание подземных выработок должно быть непрерывным [2].

Работа посвящена актуальной проблеме снижения вероятности реализации ЧС на угледобывающем предприятии.

Цель данной работы: выполнить оценку возникновения аварийной ситуации в системе шахтной вентиляции и разработать рекомендации по повышению эффективности работы шахтной вентиляции.

Для достижения цели ставятся следующие задачи:

- 1) выполнить анализ причин и последствий аварий на объектах угледобывающей промышленности;
- 2) выполнить анализ сценариев развития аварий с участием шахтной вентиляции и оценить последствия;
- 3) разработать рекомендации по уменьшению вероятности возникновения опасных ситуаций и повышению эффективности работы шахтной вентиляции.

Объект исследования – вентиляционная система шахты «Берёзовская».

Предмет исследования – аварийная ситуации в системе шахтной вентиляции.

Вентиляция (проветривание) шахты – это процесс снижения концентрации вредных и опасных газов путем разбавления воздухом в шахтной атмосфере. Вентилирование осуществляется созданием потоков воздуха по всей вентиляционной сети, включающую в себя все выработанные пространства и действующие горные выработки. Шахтная вентиляционная система состоит из вентиляционных сооружений, вентиляционной сети, потоков воздуха и отработанного шахтного воздуха с примесями вредных газов и пыли.

За последние три десятилетия на территории Российской Федерации было зарегистрировано более тридцати крупных аварий на угледобывающих предприятиях, использующих шахтный метод добычи ископаемого. Проанализировав данные об авариях, можно сделать вывод, что самой частой и основной причиной являются взрывы метана и угольной пыли. Статистика аварийности угольных шахт говорит о необходимости применения эффективных мер для надёжного и эффективного функционирования шахтной вентиляционной системы, этим и обусловлена актуальность данной темы [3].

В данной работе планируется рассмотреть характеристику угольных шахт как опасных производственных объектов, статистику аварийности на угольных шахтах, провести анализ причин чрезвычайных ситуаций, рассмотреть классификацию рисков в угольной промышленности, рассмотреть особенности шахтной вентиляции, состав рудничного воздуха и методы оценки аэрологического риска.

Таким образом, в результате проведенных исследований будет оценена вероятность реализации чрезвычайной ситуации (ЧС), связанных с шахтной вентиляционной системой и предложены рекомендации по снижению вероятности реализации ЧС на угольной шахте.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ШВС – шахтная система вентиляции;
ВГСЧ – военизированная горноспасательная часть;
ВГП – вентилятор главного проветривания;
ВМП – вентилятор местного проветривания;
ЧС – чрезвычайная ситуация;
НИ – научное исследование;
НКПВ – нижний концентрационный предел взрываемости;
ВКПВ – верхний концентрационный предел взрываемости;
ОПО – опасный производственный объект;
СИЗ – средство индивидуальной защиты;
ПДК – предельно допустимая концентрация;
КПД – коэффициент полезного действия;
МЧС – Министерство по чрезвычайным ситуациям;
ПЛА – план ликвидации аварии;
ВОД – вентилятор осевой двухступенчатый;
ВДК – вентилятор дутьевой канальный.

1 АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1.1 Виды чрезвычайных ситуаций в угольной промышленности

В настоящее время большой сектор экономики России представляет угледобывающая промышленность, включающая в себя переработку добычу, сбыт и транспортировку ископаемого угля.

На территории Кемеровской области расположено 58 угольных шахт и 36 угольных разрезов [4]. Из-за плотного рассредоточения угольных шахт и разрезов по территории региона основной задачей безопасного функционирования объектов является снижение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на данных предприятиях.

Чрезвычайная ситуация – обстановка на определённой территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [5].

Подземной аварией в шахте называется внезапное нарушение нормального состояния выработок, установок, технологического оборудования и резкое изменение состава шахтной атмосферы, которое может создать угрозу здоровью и жизни людей, находящимся на подземных работах, нарушение нормальной работы предприятия и влекут за собой материальный ущерб.

Катастрофа в шахте – это авария, которая получила широкое распространение по большинству подземных выработок, разрушая их, и ставшая причиной гибели большого количества горнорабочих.

Подземные аварии в угольной шахте разделяются на две группы:

- аварии, которые угрожают жизни работников, находящихся непосредственно в зоне аварии (локальные аварии с машинами, оборудованием и механизмами). Такие аварии ликвидируются непосредственно рабочими и надзором шахты;
- аварии, которые угрожают жизни людей, находящихся в зоне аварии и в других выработках угольной шахты (взрывы газа метана, различные пожары, обрушения и выбросы угля и породы, воды). Для ликвидации таких аварий рабочих и надзора шахты недостаточно, в таких случаях они могут выполнять вспомогательные работы, которые не требуют специального оборудования. А основная часть работы, которая отличается особой

сложностью и опасностью, выполняется специальным подразделением военизированной горноспасательной части (ВГСЧ) [6].

По классификации аварий и инцидентов на опасных производственных объектах угольной промышленности к авариям относятся [7]:

- взрывы метанопылевоздушной смеси;
- обвалы и обрушения в стволах шахт;
- внезапные выбросы угля, газа, воды и породы;
- горные удары;
- взрывы и пожары в надшахтных помещениях и сооружениях;
- эндогенные и экзогенные пожары;
- полное или частичное разрушение вентиляционной установки и другие.

Взрывы метановоздушной смеси

Одними из самых опасных подземными авариями считаются взрывы метана и угольной пыли в выработках, пожары или различные внезапные и суфлярные выделения газов. Главная опасность таких аварий для людей считается внезапное нарушение рудничной атмосферы так, что большинство горных выработок становятся непригодны для дыхания.

Причинами образования взрывоопасной среды в угольных шахтах могут быть: неправильная работа вентиляционных сооружений, неправильное разгазирование выработок, скопление метана в тупиковых выработках или выработанном пространстве, внезапный отказ вентилятора главного или местного проветривания, внезапные или суфлярные выбросы метана. Также для угольных шахт характерно пылеобразование, так как происходит непрерывная разработка угольного пласта.

Взрыв пыли начинается с детонации, после чего ранее осевшая пыли поднимается в воздух и происходит сильный взрыв. При взрыве угольной пыли выделяется большое количество ядовитых газов, которые являются поражающим фактором воздействия. Взрывчатые свойства угольной пыли характеризуются НКПВ и ВКПВ. Нижний концентрационный предел взрываемости угольной пыли составляет $300-400 \text{ г/м}^3$, а верхний концентрационный предел взрываемости составляет $2000-3000 \text{ г/м}^3$.

Факторы, которые влияют на взрывчатость угольной пыли:

- крупность частиц влияет на взрывчатость угольной пыли, так как с уменьшением размера частицы возрастает поверхность соприкосновения пыли с воздухом. Наиболее взрывоопасным размером частицы является $0,07-0,10 \text{ мм}$;

- выход летучих веществ. Летучие вещества каменного угля – это паро- и газообразные продукты, которые выделяются из ископаемой породы при ее нагревании без доступа воздуха;

- влажность и зольность угольной пыли. Угольная пыль, которая имеет зольность более 60% по взрыву не опасна. При увеличении влажности взрывчатые свойства пыли снижаются из-за тяжести частиц. Поэтому действенный способ снижения взрывоопасности угольной пыли считается орошение пласта;

- концентрация угольной пыли в подземной выработке.

Самовозгорание осевшей пыли, слесарные работы, загорание пыли в сушильных установках, выделение метана являются основными причинами взрыва угольной пыли [8].

Внезапные выбросы угля, породы и газа

Выбросы является внезапным, во время которых при работе угольной шахты происходит выброс измельченного угля, породы или газа. При появлении трещин во время работы забоя на участках с низкой проницаемостью породы образуется опасный перепад давления в тонком пласте, в результате которого происходит внезапный выброс газа и разрушение выработанного пространства.

Масштабы и объемы данных выбросов могут достигать сотни и тысячи тонн мелкой породы, угля, а также тысячи кубических метров газа.

Все выбросы сопровождаются громким звуковым эффектом, отбросом угля на большие расстояния, выделением метана и образованием полостей в пласте [9].

Шахты разделяют по степени газообильности пласта и выработок. По метану подразделяются на 6 групп:

- I – до $5 \text{ м}^3/\text{т}$;
- II – от 5 до $10 \text{ м}^3/\text{т}$;
- III – от 10 до $15 \text{ м}^3/\text{т}$
- IV (свехркатегорийные) – свыше $15 \text{ м}^3/\text{т}$;
- V – шахты, которые разрабатывают опасные или угрожающие по внезапным выбросам угля и газа;

- VI – это шахты, в которых происходят выбросы породы с выделением метана.

Степень опасности выполняемых подземных работ напрямую зависит от правильности определения категории шахты на стадии проектирования. Соответственно, чем выше уровень, тем больше мероприятий необходимо провести для обеспечения безопасного ведения работ.

Горный удар

Явление скачкообразного перехода упругой энергии угольного массива, который долгое время находился в напряжении, вокруг горных выработок и силы тяжести в работу сдвига и разрушения горных масс называется горным ударом.

Главными признаками приближающегося горного удара могут быть: разрушение и выброс угля и породы, разрушение крепи, смещение горного оборудования, резких и громкий звук, образование пыли и воздушной ударной волны, усиление газовыделения пласта [10].

Обвалы и обрушения в горных выработках

Обвалы и обрушения породы или угля в выработках в первую очередь связано с ненадлежащим контролем за состоянием вспомогательных горных выработок, с нарушением технологии добычи угля, а также с ошибками в креплениях и управлениях кровлей.

Причины обвалов и обрушений:

- 1) взрывы, механические и гидравлические нарушения породы;
- 2) воздействие землетрясений, горных ударов;
- 3) влияние влажности, температуры на породу.

Обрушения в горных выработках характеризуются обрушением больших объемов породы или угольной массы, в результате чего горная выработка выходит из строя. Предупредительными признаками приближающегося обрушения является падение мелких кусочков породы [11].

Эндогенные и экзогенные пожары

Подземные пожары являются распространенными и сложными видами аварий в шахтах. Пожары в горных выработках наиболее опасны, так как в процессе появляются осложняющие факторы: высокая температуры воздуха, задымленность и завалы выработок. Чаще всего пожары возникают при вскрытии и подготовки полей, которые не позволяют надежно изолировать выработанное пространство. Также экзогенные пожары возникают особенно стремительно в выработках с интенсивным проветриванием.

По источнику воспламенения пожары подразделяются на два вида: от самовозгорания угля (эндогенные) и от различных внешних причин (экзогенные).

Внешними причинами подземного пожара могут стать:

- курение и открытый огонь в выработках;

- сварочные и ремонтные работы;
- взрывные работы в шахте;
- механическое трение в механизмах и машинах.

Экзогенные пожары легко обнаруживаются из-за резкого запаха гари в рудничном воздухе, появления дыма, повышения температуры воздуха в горной выработке, а также по характерному треску горения угля.

Эндогенные пожары возникают из-за самопроизвольного возгорания угля, которое зависит от условий разрабатываемых месторождений. Развитие эндогенных пожаров продолжается достаточно длительный временной промежуток. Причиной возникновения эндогенного пожара является результат окислительных реакций, скорость таких реакций повышается с увеличением температуры и создает опасность. Температура может достичь уровня, приводящего к самовоспламенению угля, если зона выемки угля не обеспечена выводом тепла.

Основные условия возникновения эндогенных пожаров:

- 1) наличие горючего вещества (материала, склонного к окислению кислородом воздуха);
- 2) количество тепла, которое образуется в процессе окисления, превышает количество тепла, теряемого очагом за счет теплопроводности, конвекции и излучения;
- 3) постоянный приток окислителя к поверхности скопления горючего вещества.

Выделения пара на поверхность из стволов, трещин в земли, появление и скопление тумана, а также увеличение температуры рудничного воздуха, появление дыма и огня в зоне пожара – основные признаки возникновения эндогенного пожара [12].

1.2 Характеристика угольных шахт как опасного производственного объекта

Шахта – это полностью механизированное предприятие, оборудованное машинами и механизмами для добычи и транспортировки полезного ископаемого, вентиляцией, водоотливом [13].

Опасный производственный объект – это объект, на котором получают, перерабатываются, хранятся, транспортируются и уничтожаются опасные вещества. Аварии на опасных производственных объектах влекут за собой серьёзные последствия для жизни и здоровья людей, окружающей среде и имуществу предприятий, эксплуатирующих опасные объекты [5].

Угольные шахты являются сложными природно-техногенными системами и относятся к опасным производственным объектам (ОПО), в которых идут взаимосвязанные горно-геологические, физико-химические, аэрологические, технологические,

производственные процессы, способные привести к инцидентам, авариям, травмам и групповым несчастным случаям на производстве.

Горные предприятия скрывают в себе множество опасных и вредных факторов, которые угрожают жизни и здоровью людей. Подземные выработки насыщены техническими устройствами, замкнутым пространством, вероятностью выброса опасных газов и породы [14].

К категориям опасных производственных объектов относятся объекты, на которых ведутся горные работы (за исключением добычи общераспространенных полезных ископаемых и разработки россыпных месторождений полезных ископаемых, осуществляемых открытым способом без применения взрывных работ), работы по обогащению полезных ископаемых.

Для данных опасных производственных объектов определены следующие классы опасности:

I класс опасности – для шахт угольной промышленности, а также иных объектов ведения подземных горных работ на участках недр, где могут произойти: взрывы газа и (или) пыли, внезапные выбросы породы, газа и (или) пыли, горные удары, прорывы воды в подземные горные выработки;

II класс опасности – для объектов ведения подземных горных работ, не указанных в подпункте 1 настоящего пункта, для объектов, на которых ведутся открытые горные работы, объем разработки горной массы которых составляет 1 миллион кубических метров в год и более, для объектов переработки угля (горючих сланцев);

III класс опасности – для объектов, на которых ведутся открытые горные работы, объем разработки горной массы которых составляет от 100 тысяч до 1 миллиона кубических метров в год, а также объектов, на которых ведутся работы по обогащению полезных ископаемых (за исключением объектов переработки угля (горючих сланцев));

IV класс опасности – для объектов, на которых ведутся открытые горные работы, объем разработки горной массы которых составляет менее чем 100 тысяч кубических метров в год [5].

1.3 Статистика аварий на угольных шахтах, в угольной промышленности

В настоящее время достаточно высок уровень потенциальных опасностей, которые возникают при ведении подземной и открытой добычи угля. Это создаёт угрозу возникновения аварийных ситуаций и воздействия опасных и вредных факторов на подземных работников и окружающую природную среду [15].

В Таблице 1 приведена статистика крупнейших аварий в угольной промышленности России [16].

Таблица 1 – Статистика крупнейших аварий в угольной промышленности России

Дата	Место	Погибшие	Причины
10.04.2004	Шахта «Таёжная», г. Осинники	47	Взрыв метана
09.02.2005	Шахта «Есаульская», г. Новокузнецк	25	Взрыв метана
24.05.2007	Шахта «Юбилейная», г. Новокузнецк	39	Короткое замыкание, выход из строя датчиков контроля метана
09.05.2010	Шахта «Распадская» г. Междуреченск	91	Взрыв метана
20.01.2013	Шахта №7 г. Киселевск	8	Взрыв метана
22.02.2013	Шахта «Воркутинская» г. Воркута	19	Взрыв метана
25.02.2016	Шахта «Северная» г. Воркута	10	Взрыв метана
04.08.2017	Шахта «Мир» г. Мирный	8	Затопление
22.12.2018	Шахта СКРУ-3 г. Соликамск	9	Пожар
08.02.2019	Разрез «Распадский» г. Междуреченск	6	Падение вахтовки с борта разреза
20.11.2022	Шахта «Листвяжная» г. Белово	51	Взрыв метана

Исходя из статистических данных по крупнейшим авариям в угольной промышленности России в большинстве представленных случаев причиной возникновения чрезвычайной ситуации является выброс метана и дальнейший взрыв метанопылевоздушной смеси в горной выработке. Данный вид аварии считается самым распространённым, опасным и тяжелым.

В процессе ликвидации аварии отряды военизированной горноспасательной части (ВГСЧ) сталкиваются с множеством факторов, затрудняющих аварийно-спасательные работы (задымление, завалы, минимальное содержание кислорода).

Взрывы метанопылевоздушной смеси являются причинами смертей и травматизации горнорабочих, влекут за собой огромный материальный ущерб, а также оказывают существенное влияние на производительность объекта и могут стать причиной вывода из эксплуатации предприятия.

1.4 Анализ причин чрезвычайных ситуаций на угольных шахтах

Ежегодно в России происходят множество аварий и инцидентов в угольных шахтах, которые влекут за собой огромные убытки, вред здоровью и жизни рабочих. Проблема

безопасной добычи угля является актуальной для России. Для обеспечения надлежащего уровня безопасности важно знать причины возникновения аварий на угольных шахтах.

Причинами возникновения данных ЧС на угольных шахтах могут быть:

- Прорывы вод;
- Остановка одной из вентиляционных установок;
- Суфлярное выделение газов в выработке;
- Природные явления;
- Курение в горных выработках;
- Нарушение пылевого режима шахты;
- Недосмотр за ранними признаками самогревания угля;
- Наличие взрывоопасных концентраций метана.

Все причины можно разделить на два вида: технические причины (нарушения, связанные с оборудованием и системами шахты) и организационные (нарушения условий труда работниками).

Прорывы вод

Данная чрезвычайная ситуация может произойти при большом шахтовом притоке воды или остановки насосов главного водоотлива. Основная опасность прорывов вод и последующего затопления представляется для работников шахты в нижних горизонтах или в тупиковых выработках. Также затопление шахты в большинстве случаев сопровождается обвалами и обрушениями, выделением из пластов породы и угля газа метана, сероводорода и углекислого газа.

Признаками приближающегося затопления горной выработками могут служить: потение забоя, обильное капание, потрескивания, появление воды и струй из стен выработки.

Остановка вентиляторной установки

Остановка вентиляторной установки может привести к накоплению угольной пыли в горных выработках, некачественному шахтному воздуху и накоплению метана. Причинами остановки вентиляторных установок могут послужить: внезапное незапланированное отключение электроэнергии и отсутствие местных генераторов энергии, несвоевременный контроль и проведение ремонтных работ.

Суфлярное выделение газов

Суфлярное выделение газа – это истечение газов, который скопился в трещинах и пустотах угольного пласта или породы. Причинами для суфлярного выделения взрывоопасных газов могут стать: активная разработка угольных и рудных месторождений, вскрытие трещин и полостей угольного пласта при ведении горных работ, несоблюдение установленного порядка выемки сближенных пластов, игнорирование мер по предупреждению возможного суфлярного выделения. Для снижения вероятности выделения суфлярных газов до начала очистных работ производятся дегазационные мероприятия, увлажнение пластов, бурение опережающих скважин [17].

Природные явления

Нередко природные явления различного характера могут послужить причиной начала аварийной ситуации на опасных производственных объектах.

Так для угольных шахт одними из наиболее вероятных и опасных явлений природы являются: землетрясение, ветра и грозы.

Для угольных шахт землетрясения несут большую опасность, так как могут спровоцировать обвалы, затопления, обрушения кровли и нарушение газового баланса шахты (выбросы газа). В современных условиях при освоении более глубоких горизонтов шахт возрастает и роль микроклиматических факторов (давления, температуры), а также усиливается влияние сейсмического фона от землетрясений. Исследования показали, что категория опасности возникновения землетрясения в 6-7 баллов по шкале MSK 64 в районе расположения производственного объекта является опасной [18].

Ветер скорость которого составляет 14-16 м/с способен на переворачивание конструкций и обламывание веток, для территории угольной шахты является опасным. Штормовые ветра со скоростью свыше 24 м/с способны представлять угрозу обрывов линии электропередач, разрывов электротранспортных сетей, нарушений кровли производственных зданий с ценным техническим оборудованием. Нарушение капитальных строений происходит при ураганном ветре скорость которого составляет 30 м/с и более.

Грозой называется атмосферное явление, связанное с развитием мощных кучево-дождевых облаков, которые сопровождаются многократными электрическими разрядами. Электрические разряды и несут опасность для производственных объектов – разрушение линий электропередачи, попадание в здание, возникновение открытого огня [19].

1.5 Классификация рисков в угольной промышленности

Работа в шахте опасна по многим факторам. Например, наличие больших глубин, огромное количество сложных технических систем и машин, которые задействованы в добыче полезного ископаемого, наличие ядовитых, пожаро- и взрывоопасных газов в рудничной атмосфере создают непосредственную опасность для работников и окружающей природной среды. Аварии на угольных шахтах приводят к гибели людей, потере основных фондов и запасов угля.

В настоящее время риск рассматривается с точки зрения количественной меры опасности. Данное понятие широко используется для обоснованного сравнения безопасности разных видов работ, оценки вероятности возникновения нежелательных последствий.

Риском называется вероятность причинения вреда здоровью и жизни граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде [20].

Риск возникновения чрезвычайной ситуации – это вероятность или частота возникновения источника ЧС, которая определяется соответствующими показателями риска [21].

Риски в угольных шахтах можно разделить на три группы:

- 1) производственные;
- 2) экологические (геомеханические, геодинамические);
- 3) аэрологические.

Промышленный риск

Риски, которые связаны с производственной деятельностью принято считать производственными рисками.

Производственный риск – риск, связанный с опасностью нанесения вреда предприятию и его работникам, третьим лицам в ходе нарушения нормального производственного процесса [22].

Состояние производственной безопасности на угольных шахтах зависит от факторов, негативное сочетание которых может привести к несчастному случаю, аварии или ЧС [23]. Производственный риск напрямую зависит от технических, технико-технологических, организационных, экономических факторов [24].

Экологический риск

Добыча полезных ископаемых в промышленных масштабах оказывает значительное воздействие на окружающую среду. Данный вид риска может возникнуть на угольных предприятиях в процессе строительства и эксплуатации [25].

Экологический риск – это вероятностная мера опасности причинения вреда природной среде в виде возможных потерь за определенное время [26].

Процесс управления экологическим риском включает в себя определение действующих факторов, которые влияют на величину риска. В угольной промышленности существует множество факторов экологического риска, связанные непосредственно с добычей угля или с задействованными механизмами. Например, степень износа оборудования, виды и частота природных явлений на территории предприятия.

Аэрологический риск

Главная жизнеобеспечивающая система в угольной шахте – шахтная вентиляционная система (ШВС), при отказе данной системы нарушается безопасность ведения горных работ, что может привести к тяжёлым последствиям. Особенностью угольных шахт является наличие газа метана, взрывы которого в большинстве случаев приводят к масштабной чрезвычайной ситуации.

Так большинство действующих угольных шахт являются сверхкатегорийными по газу метану, а их основной проблемой является загазованность горных выработок. Поэтому при анализе безопасности подземных горных работ целесообразно использовать понятия «аэрологическая безопасность» и «аэрологический риск». Решением проблемы аэрологической безопасности включает в себя выполнение комплекса работ, связанных с анализом и оценкой риска возможных аварий, которые происходят вследствие отклонения параметром шахтной атмосферы от нормативных значений.

Аэрологической опасностью называется возможность возникновения повышенных концентраций газа и пыли в шахтной атмосфере или нарушение требуемого воздухораспределения в вентиляционной сети, а также отклонение микроклиматических параметров от уровней, установленных санитарными нормами.

Аэрологический риск – это вероятность возникновения аэрологической опасности или аварии с учетом величины ущерба ее реализации.

Аэрологический риск тесно контактирует с производственными и экологическими рисками угольной промышленности. При проведении оценки аэрологических рисков аварий необходимо учитывать аэрологические риски аварий на выемочных участках, а также аэрологические риски, возникающие вследствие нарушения дегазации, возможного

разрушения горных выработок, разрушения воздухорегулирующих сооружений, отказов вентиляторов (используются статистические данные по частотам, интенсивностям и вероятностям отказов шахтных вентиляционных систем) [23].

2 ШАХТНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

В силу своего ограниченного объема атмосфера горных выработок очень быстро и легко способна насыщаться вредными техногенными и природными газами. Превышение предельно допустимых концентраций и различных взрывопожароопасных характеристик угольной пыли и газов считается крайне опасным для жизни и здоровья горнорабочего.

Принудительная вентиляция всех подземных горных выработок является неотъемлемой частью функционирования угольной шахты. При остановке непрерывного проветривания выработок существует высокая вероятность остановки всего технологического процесса в шахте.

Шахтная вентиляция – это техническая система, направленная на поддержание во всех действующих горных выработках шахты атмосферы с параметрами необходимыми для безопасного ведения горных работ [1].

Вентиляционной сетью называется совокупность соединённых между собой горных выработок, по которым движется воздух.

На стадии проектирования шахты основным этапом является проектирование системы проветривания горных выработок. Проектирование системы вентиляции угольной шахты состоит из 7 этапов:

1. Выбор схемы вентиляции шахты.

На сегодняшний день существует схемы вентиляции трёх видов: фланговая, центральная и комбинированная.

Фланговая схема проветривания находит применение для неглубоких шахт, где нецелесообразно поддерживать единый вентиляционный горизонт. Суть работы данной схемы заключается в поступлении воздуха в шахту через центральный ствол, а выход воздуха через его фланги.

Центральная схема проветривания обычно применяется для небольших размеров шахтного поля. Свежий воздух поступает в шахту и выходит через стволы в центре разрабатываемого шахтного поля.

Комбинированная схема сочетает в себе комбинацию двух предыдущих схем (фланговой и центральной). «Свежая струя» воздуха подаётся через центральный ствол шахтного поля, а исходящая струя выходит через соседний центральный ствол или по стволам на флангах.

2. Выбор способа вентиляции шахты.

Существует три способа проветривания шахт: нагнетательный, всасывающий и комбинированный. Правильность выбора каждого зависит от создания в шахте необходимого перепада давления в выработках. Целесообразность использования каждого из них зависит от создания необходимого перепада давления в выработках.

Нагнетательный способ вентиляции. Создание перепада давлений в шахте за счет повышения давления воздуха вентилятором у устья воздухоподающего ствола.

Преимуществом нагнетательного способа проветривания является: применение одной вентиляционной установки при множестве разветвлений сети, лёгкость управления режимами и распределением воздуха, большое число воздухоотводящих выработок, оборудованных как запасных выходы повышают безопасность ведения горных работ и облегчает ликвидацию аварий. При данной способе проветривания через вентилятор проходит чистый воздух, что снижает вероятность возникновения полог и аварийных остановок оборудования.

Недостатком нагнетательного способа вентиляции можно считать необходимость герметичного надшахтного здания, установка вентиляционной установки большей мощностью и с регулировкой расхода воздуха и депрессии. При возникновении аварийной ситуации, связанной с вентиляцией, возрастает приток метана из-за падения давления в выработках.

Всасывающий способ вентиляции. Перепад давления (депрессия) в шахте создается за счет разряжения, создаваемой вентилятором, установленному в устья воздуховыдающего ствола.

Преимущества использования данного способа проветривания являются: повышение эффективности проветривания тупиковых выработок (при использовании нескольких небольших установок), работа одной центральной установки является более устойчивой.

Недостатками являются: работа нескольких вентиляторов неэкономична, усложнение расчёта нужного количества воздуха для выработок, загрязнение вентиляционной установки за счёт всасывания «отработанного» воздуха из горных выработок. Также недостатком данного способа проветривания является подсос воздуха с поверхности через зоны обрушения и трещины, данное действие приводит к загрязнению рудничного воздуха.

Комбинированный способ проветривания. Данный способ проветривания объединяет два предыдущих. На воздухоподающем стволе устанавливается нагнетательная установка, а на воздуховыдающем стволе – всасывающая. Депрессия, которая создается

двумя вентиляторами в паре будет равна сумме величин превышения давления над атмосферным, создаваемой нагнетающего вентилятора и величины уменьшения давления относительно атмосферного, создаваемого всасывающим вентилятором.

Преимуществом данного способа проветривания является уменьшение утечек через выработанное пространство. Недостатками являются: сложность обслуживания двух вентиляторов, трудность управления вентиляцией при наличии нескольких всасывающих вентиляторов.

3. На стадии проектирования осуществляется расчёт относительной газообильности шахты.

Газообильность называется метановыделение из породных пластов в горной выработке. Чем выше газообильность шахты, тем больше вероятность возникновения опасностей, связанных с нарушением рудничной атмосферы горной выработки, следовательно, система вентиляции должна быть надёжной и эффективной.

4. Определение расхода воздуха для вентиляции шахты.

Данный расчёт производится для определения количества воздуха, нужного для проветривания всех горных выработок шахты. Расчёт в дальнейшем используется для выбора главного вентилятора шахты.

Данный расчёт по газообильности шахт производится только при условии разбавления газов до допустимых концентраций, по потреблению кислорода людьми (на человека минимум $6 \text{ м}^3/\text{мин}$), а также по пылевыведению.

5. Проверка допустимой скорости движения воздуха.

Каждая подземная выработка имеет собственную степень шероховатости и сечения стенок, все эти показатели влияют на аэродинамические характеристики воздуха горных выработок. Например, от сечения стенок зависит скорость движения воздуха по выработке, поэтому на стадии проектирования осуществляется проверка сечения выработок по допустимой скорости движения воздуха.

6. Расчет депрессии шахты.

Депрессия шахты — депрессия системы горных выработок от устья воздухоподающего ствола до канала вентилятора [1].

Расчет депрессии производится для правильного выбора главной вентиляционной установки. Для этого выбирается самое протяжное вентиляционное направление с наибольшим аэродинамическим сопротивлением.

7. Выбор главного вентилятора.

Для выбора вентилятора рассчитывается депрессия шахты и потери при движении воздуха через вентилятор. На заводе вентилятор проходит испытания, при которых, изменяя углы наклона лопаток рабочего колеса, производят замеры депрессии и коэффициент потерь депрессии в канале вентилятора [27].

2.1 Состав и свойства шахтного воздуха

Атмосферным воздухом называется внешняя воздушная оболочка планеты Земля. Состав атмосферного воздуха на уровне земли: азот (78%), кислород (около 21%) и различные инертные газы, углекислый газ составляют около одного процента.

Перемещаясь по горным выработкам атмосферный воздух изменяет свой состав и физические параметры и становится рудничным воздухом. При движении по системе горных выработок изменениям подвергаются такие характеристики воздуха, как: температура, плотность воздуха, влажность, химический состав, количество примесей пыли в составе.

Аэрология – это наука о свойствах подземной атмосферы шахт и карьеров, законах рудничного воздуха, переноса газообразных примесей, пыли в горных выработках [1].

Рудничный (шахтный) воздух – это смесь паров и газов, которые заполняют подземную горную выработку. Содержание кислорода является основным различием рудничного воздуха от атмосферного. Кислород в подземных выработках расходуется на дыхание работников, большого притока углекислого газа, азота и метана. Но одними из главных причин низкого содержания кислорода в рудничном воздухе являются: непрерывное окисление органических и неорганических веществ (пород, крепежных систем), рудничные пожары и взрывы метанопылевоздушной смеси.

При проектировании и эксплуатации угольных шахт и рудников принято использовать понятия: «свежая струя» и «отработанная струя». «Свежей струей» является чистый воздух, движущийся от поверхности до очистных и подготовительных забоев, а «отработанной струей» считается, струя воздуха в обратном направлении. Содержание газов в рудничной атмосфере выражается объемным или массовым содержанием в процентах [28].

Азот – это бесцветный газ, не имеющий запаха и вкуса. Данный газ не способен поддерживать горение, а также непригоден к дыханию. Повышенное содержание азота в рудничной атмосфере является индикатором о недостаточном содержании кислорода по объему выработанного пространства и может вызвать кислородное голодание.

Источниками дополнительного поступления азота в рудничный воздух являются: процессы гниения, выделение из трещин пласта, взрывные работы.

Кислород – газ без цвета и запаха. Кислород является активным химическим элемент, вступает в соединения с газами и поддерживает горение. По правилам безопасности на угольных шахтах содержание кислорода в действующих горных выработках должно быть не менее 20% по объему.

Углекислый газ – бесцветный газ, имеющий кислый вкус и запах. Вызывает раздражение слизистых оболочек глаз, рта и носа. Не поддерживает дыхание и горение. При насыщении крови человека углекислым газом возникает недомогание, отказывает работа нервных центров, что в дальнейшем может привести к смерти. Углекислый газ имеет свойство накапливаться в нижних частях выработок и при недостаточном проветривании образует опасные скопления. ПДК окиси углерода – 0,5% по объему [29].

Главные источники углекислого газа в подземных выработках:

- гниение крепежных лесов;
- окисление угля и пород шахтными водами с повышенной кислотностью;
- выделение из трещин пласта;
- дыхание людей;
- двигатели машинного оборудования;
- взрывные работы.

Метан – газ, который не имеет цвета, запаха и плохо растворим в воде. Метан инертен, но, вытесняя кислород, является опасным для людей. С воздухом метан образует горючие и взрывчатые смеси.

С кислородом воздуха метан способен образовывать горючие смеси. При содержании метана 5-6% возникает воспламенение около источника тепла, если содержание метана от 5-16%, то газ взрывается. Наибольшая сила взрыва достигается при 8-9% метана. Нижний концентрационный предел воспламеняемости составляет 5-15% по объему. Температура воспламенения метана 650-750°C и зависит от концентрации в воздухе [30].

Одним из главных поражающим фактором взрыва метана является температура продуктов взрыва. Температура возрастает до 1875°C в открытом пространстве, а в замкнутом объеме до 2150°C. Также скорость распространения реакции взрыва метана изменяется от нескольких десятков до сотен метров в секунду. При взрыве в начале наблюдается прямой удар взрывной волны, а затем обратный. Обратный удар по своей силе уступает прямому удару [28].

Происхождение метана и его нахождение в подземных выработках обусловлено одновременным образованием метана с залежами угля в горном пласте. В угольных породах газ метан может находиться в свободном и сорбированном состоянии.

Существует три вида выделения метана: обыкновенное, суфлярное и внезапное.

Обыкновенное выделение – это выделение метана с обнаженной поверхности угольного пласта через мелкие трещины и зазоры, которое сопровождается шипением или мелким звуком потрескивания. Интенсивность выделения метана зависит от газопроницаемости угля и газового давления угольного пласта.

Суфлярное выделение – это выделение газа из крупных трещин на поверхности угольного пласта, которые видны человеческому глазу на обнаженной поверхности. Суфляры (газовые фонтаны) представляют опасность из-за резкого повышения концентрации метана в горной выработке, а также способствует появлению слоевого скопления метана. Суфляры существуют двух видов: естественные (природные, геологические разрушения) и эксплуатационные (при работе выемочного комбайна).

Внезапное выделение – выбросы газа в больших количествах за короткий промежуток времени, сопровождающиеся выбросом горной массы. Непосредственно перед внезапным выбросом газа начинаются толчки, удары и гул в массиве породы, происходит осыпание и повышается газовыделение.

Допустимая концентрация содержания метана в вентиляционной струе различается в зависимости от места работы в угольной шахте: местные и слоевые скопления метана – больше 2 %; поступающая на выемочный участок, к очистным и подготовительным забоям и камерам – 0,5 %; исходящая из камеры, тупиковой выработки, поддерживаемой выработки – более 1 %; на выходе из смесительных камер – больше 2 % [31].

Оксись углерода – газ без цвета и запаха. Окись углерода горюча, ядовита и взрывоопасна, в смеси с воздухом взрывоопасная концентрация составляет от 13-70% по объему. Главной опасностью для здоровья работника окись углерода является способность данного газа с легкостью соединяться с клетками гемоглобина, вытесняя кислород, в результате чего наступает кислородное голодание и может наступить смерть. ПДК окиси углерода по объему – 0,0016%.

Подземные пожары, взрывы метанопылевоздушной смеси, буровзрывные работы и работа двигателей внутреннего сгорания являются источниками окиси углерода.

Оксиды азота (NO , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_5) – имеют бурый цвет и характерный резкий запах. Данные оксиды газа образуются в результате взрывных работ. Оксиды азота являются ядовитыми газами, вызывают раздражение слизистых оболочек дыхательных

путей и могут привести к отёку легких. ПДК оксидов азота в шахтной атмосфере составляет не более 0,00025% по объему.

Сернистый газ – это бесцветный газ, который имеет едкий запах и кисловатый вкус. При попадании на слизистые оболочки вызывает раздражение, а при тяжелых отравлениях вызывает отек гортани и поражение легких. Содержание сернистого газа в шахтном воздухе 0,00035% по объёму. Образуется сернистый газ при буровзрывных работах в серосодержащих породах, подземных пожарах.

Водород – бесцветный газ без запаха. Водород является одним из взрывоопасных веществ, температура воспламенения водорода примерно на 100-200 градусов ниже температуры воспламенения метана. В шахтной атмосфере водород выделяется из пластов и пород угля, а также появляется при зарядке аккумуляторных батарей в горных выработках. Так, все шахты по содержанию водорода относятся к опасным по газу и подразделяются на четыре категории.

Таблица 2 – Категории шахт по водороду

Категория	Количество газа (м ³) на объем (м ³) среднесуточной добыче угля
I	До 7
II	От 7 до 14
III	От 14 до 21
Сверхкатегорные	21 и более

Аммиак – газ без цвета, имеющий резкий запах, является ядовитым для человека. При содержании в рудничной атмосфере примерно 30% аммиака может произойти взрыв. Аммиак выделяется в рудничную атмосферу при взрывных работах. Предельно допустимая концентрация аммиака в рудничной атмосфере составляет 0,0025% по объему [2].

2.2 Требования по проветриванию подземных выработок

Основным условием безопасной работы под землей является наличие вентиляции подземных выработок, которые позволяют поддерживать нормальный состав шахтного воздуха, его температуру и влажность.

Ввод в эксплуатацию системы проветривания шахт должен осуществляться исключительно в соответствии с одобренным проектом. На угольном предприятии должна быть организована служба (участок) аэрологической безопасности, отвечающий за работу вентиляционной системы. Начальник данного участка подготавливает вентиляционный

план, утвержденный главным инженером, в соответствии с нормативными правовыми актами по обеспечению аэрологической безопасности шахт.

На угольной шахте обязательно должен быть в наличии вентиляционный план всех подземных выработок, который составляется раз в три года и ежемесячно дополняется. Вентиляционным планом является вычерченный в масштабе план горных выработок, на котором стрелками указано движение воздуха по вентиляционной сети.

На вентиляционном плане указываются: вентиляционные устройства, количество поступающего воздуха, все перемычки и вентиляционные двери, а также средства пожаротушения, места нахождения насосов и складов противопожарных материалов, пункты переключения в самоспасатели шахтеров и вагонеток с противопожарным оборудованием, шахтные и блоковые запасные выходы. К вентиляционному плану шахты прикладывается пояснительная записка в которой указывается характеристика всех вентиляционных установок, количество и характеристика забоев, подлежащим проветриванию.

Вентиляционная система должна бесперебойно и круглосуточно обеспечивать проветривание подземных выработок. Все шахты должны иметь искусственную вентиляцию, проветривание только за счёт естественной тяги запрещается. Проветривание подземных выработок должно осуществляться за счёт вентилятора главного проветривания и вспомогательными вентиляторами главного проветривания.

Проветривание шахты, в которой находятся или могут находиться люди должно поддерживать определённое содержание газов и веществ в рудничной атмосфере.

Так, для безопасной работы содержание кислорода в рудничной атмосфере должно составлять не менее 20%, содержание углекислого газа на рабочих местах не должно превышать 0,5%, а суммарное содержание вредных и опасных газов (метана, водорода) в выработках не должно превышать 0,5% по объёму.

Во многом система проветривания и количество необходимого воздуха для подземных выработок зависит от расположения угольного месторождения, геологических характеристик пластов. Для качественной эксплуатации вентиляционной системы шахт в случаях наличия газоносных пластов, необходимо иметь заключение научной организации о составе, масштабе, местах и характере выделения газов. На основании полученных заключений вентиляционная система проветривания шахты переходит в «газовый режим» или «пылевой режим» работы.

Данные режимы работы направлены на обеспечение безопасной работы подземных рабочих. Режим устанавливает особый порядок выполнения огневых, взрывных работ, бурения скважин, а также порядок контроля за состоянием рудничной атмосферы.

Также необходимым расчетом для качественного проветривания подземных выработок является расчёт минимальной скорости воздуха. Для очистных и подготовительных выработок минимальная скорость составляет 4 м/с, в капитальных уклонах и штреках угольной шахты – 8 м/с, в стволах, по которым производится спуск и подъем рабочих скорость должна составлять – 15 м/с.

При зафиксированном превышении установленных предельно допустимых концентраций ядовитых и опасных газов все люди должны быть выведены через свежую «струю» на поверхность.

При превышении допустимых норм содержания горючих газов в рудничной атмосфере горных выработок все работы должны быть немедленно прекращены, люди выведены на поверхность через свежую «струю», двигатели внутреннего сгорания выключены и предприняты меры по разгазированию участка.

Запрещается использования одного ствола шахты для подачи свежей струи и исходящей струи воздуха.

Выбор вентиляторной установки определяется расчётом необходимого количество воздуха в рудничной атмосфере. Способы и схемы проветривания определяется проектной документацией.

Главные вентиляторные установки должны состоять из двух самостоятельных вентиляторных агрегатов и обязательно иметь резервную установку. Установка главного вентилятора должна быть оборудована автоматической аппаратурой контроля.

Для обеспечения бесперебойного проветривания шахты главные вентиляторные установки должны иметь минимум две независимые друг от друга электросиловые линии от электрической подстанции для полного энергообеспечения системы.

Также во избежание травм сотрудников все вентиляторы должны быть оборудованы стопорными устройствами, которые предотвращают самопроизвольное движение ротора

Обязательным условием является расположение на поверхности вентиляторной установки относительно ствола – не менее 15 метров.

Во избежание короткого замыкания или возможности разгерметизации все вентиляционные устройства (перемычки, шлюзы, регуляторы) должны обеспечивать максимальную герметичность. Перемычки должны быть выполнены из негорючих

материалов. Все вентиляционные каналы должны регулярно очищаться от пыли, инородных тел.

При непредвиденной остановке главных и вспомогательных вентиляционных установок продолжительностью более 30 минут, все горнорабочие должны быть выведены на поверхность со свежей «струей» воздуха. При остановке главной вентиляционной установки приступить к работе возможно после всех необходимых мероприятий и по разрешению технического руководителя организации.

На угольной шахте не реже двух раз в год, при изменении схемы проветривания или после замены вентиляционной установки должна проводиться проверка всех режимов работы вентиляции (реверсирования, газовый, аварийный режим)

Во избежание аварийных ситуаций вентиляционные установки должны ежедневно осматриваться работниками, назначенные техническим руководителем, также должен проводиться еженедельный контроль главным механиком шахты и руководителем участка аэрологический безопасности.

В подземных горных выработках ежемесячно должны проводиться замеры количества воздуха, который поступает по горизонтам, отборы проб воздуха для определения качественного состава рудничной атмосферы [32].

2.3 Типы шахтных вентиляторов

Помимо искусственной вентиляции горных выработок, существует также естественная, но тяга и сила естественной вентиляции недостаточна для проветривания всех участков выработок.

Естественной тягой называется движение воздуха в выработках под действием различной плотности воздуха на земной поверхности и под землей, зависящей от температуры. Соответственно, естественная тяга имеет большую величину зимой, чем летом, потому что плотность теплого воздуха ниже, а плотность холодного воздуха выше.

Вентилятор используется из-за необходимости мощного источника движения воздуха по всей системе горных выработок для поддержания нормируемых параметров рудничной атмосферы.

Вентилятор – это механическая установка, которая создает разность давлений (депрессий) на входе в вентиляционную сеть и на выходе из нее. Движение воздуха обеспечивает вращающееся в кожухе под давлением электро- или пневмодвигателя рабочее колесо с лопатками.

По назначению шахтные вентиляторы подразделяются на три группы:

- главные вентиляторные установки, которые обслуживают большую часть шахтного поля;
- вентиляторы местного проветривания, которые проветривают отдельные забои, тупиковые выработки или рабочее место трудящегося;
- вспомогательные вентиляторы, работающие совместно с главным вентилятором.

Главные и вспомогательные вентиляторы отличаются от вентиляторов местного проветривания своими размерами, а также мощностью привода, производительностью и коэффициентом полезного действия.

Все шахтные вентиляторы горнодобывающей отрасли по своей конструкции относятся к лопастным нагнетателям. В свою очередь все лопастные вентиляторы в соответствии с формой рабочего колеса и характером движения воздуха по рабочим зонам подразделяются на две группы: осевые и центробежные.

Осевые вентиляторы. Все осевые вентиляторы состоят из рабочего колеса, с прикреплёнными к нему двумя лопатками. Лопатки рабочего колеса изготавливаются из стали или пластмасса (для вентиляторов малого размера) Вращение рабочего колеса происходит в цилиндрическом корпусе, за движущейся частью вентилятора следуют спрямляющий аппарат с неподвижными лопастями.

Суть работы осевого вентилятора заключается во вращении рабочего колеса с лопатками, далее с помощью лопаток ротора энергия привода вентилятора передается воздуху и выпускается наружу.

Лопатки рабочего колеса могут иметь различные формы и быть симметричными и несимметричными. Симметричность лопаток указывает на реверсивность вентилятора, так как производительность установки не изменяется при изменении направления вращения рабочего колеса. Вентиляторы с несимметричными лопатками не реверсивные, при смене направления вращения рабочего колеса производительность таких вентиляторов резко снижается. Справляющий аппарат в вентиляторах обеспечивает плавный переход воздуха от лопаток рабочего колеса к выходу в диффузор.

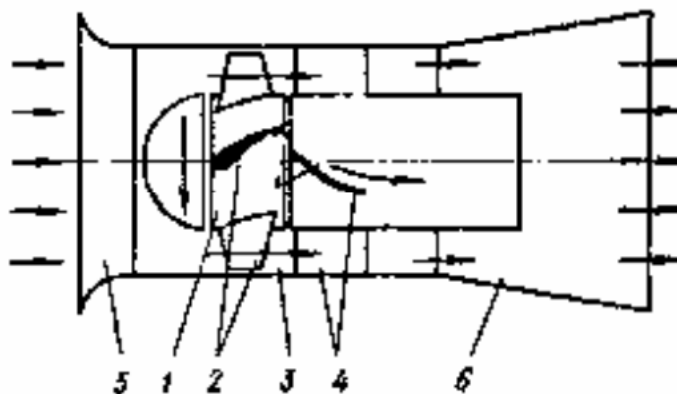


Рисунок 1 – Схема осевого вентилятора: 1 – рабочее колесо; 2 – лопатки рабочего колеса; 3 – кожух; 4 – спрямляющий аппарат; 5 – коллектор; 6 – диффузор

Существуют одноступенчатые и двухступенчатые осевые вентиляторы. Наличие двух ступеней у вентилятора позволяют развивать более высокое давление.

Преимущества осевых вентиляторов: простота конструкции, простота монтажа и малая площадь под установку, высокая производительность и КПД.

Центробежные вентиляторы. В состав центробежного вентилятора входит рабочее колесо, крыловидные лопатки. В центробежном вентиляторе рабочее колесо вращается в стальном кожухе спиралевидной формы, такая форма кожуха способствует подаче воздуха в определённом направлении.

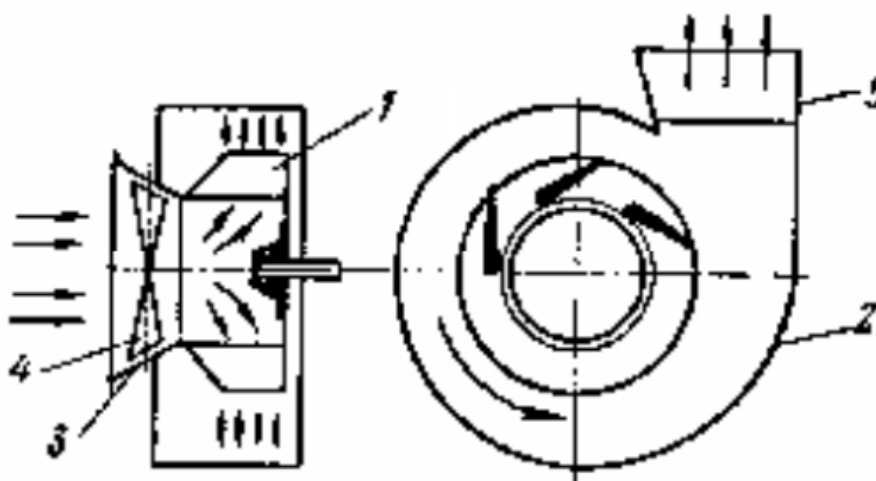


Рисунок 2 – Схема центробежного вентилятора: 1– рабочее колесо; 2 – спиральный кожух; 3 – входной коллектор; 4 – лопатки направляющего аппарата; 5 - диффузор

Суть работы центробежных вентиляторов заключается в попадании чистого воздуха в зону рабочего колеса установки параллельно оси вала, далее воздух проходит между

лопатками рабочего колеса и выбрасывается в рабочую часть кожуха, где после движения через диффузор идет на выход в шахтную атмосферу горных выработок.

Центробежные вентиляторы выполняются с односторонним и двусторонним всасыванием. Двустороннее всасывание позволяет увеличить производительность центробежного вентилятора.

Преимущества центробежных вентиляторов: небольшая шумность при работе, высокая депрессия, меньшая чувствительность к загрязненному воздуху, высокая устойчивость рабочих режимов.

Параметры шахтных вентиляторов.

Все вентиляторы, которые предназначены для проветривания шахт, различаются по конструкции, назначению и параметрам. Основными параметрами шахтных вентиляторов являются: производительность, давление (депрессия), диаметр рабочего колеса, потребляемая мощность, КПД, угол поворота лопаток. Все эти параметры определяют целесообразность использования вентилятора для работы в определённых условиях.

Все параметры шахтных вентиляторов подразделяются на эксплуатационные, регулировочные и производные.

Эксплуатационные параметры (депрессия и производительность) определяют режим работы вентилятора, регулировочные (параметры угла поворота лопаток рабочего колеса и направляющего аппарата установки) определяют изменение эксплуатационных параметров вентилятора, производные параметры (мощность и КПД) являются зависящими от совокупности остальных параметров [33].

2.4 Методы оценки аэрологического риска на угольных шахтах

Исходя из выполненного анализа статистики по аварийности на угольных шахтах, можно сделать вывод, что система обеспечения аэрологической безопасности на данных предприятиях угольной промышленности имеет достаточно низкую эффективность. Так, наиболее частыми авариями в шахте являются вспышки и взрывы метана загазированных выработанных горных участков.

Под аэрологической безопасностью принято понимать эффективность и надёжность работы системы вентиляции и контроля параметров рудничной атмосферы в вентиляционной сети [34].

Для решения проблемы появления высокого уровня аэрологического риска необходимо выполнение полного, внимательного анализа и оценки риска возможных

аварий, которые произошли из-за отклонений параметров шахтной атмосферы от их допустимых нормируемых значений.

Анализ аэрологического риска – процесс решения задачи путем построения всех возможных сценариев возникновения и развития аварий, чрезвычайных ситуаций и оценки частот и масштабов реализации каждого из сценариев.

Отсутствие общепринятых методик анализа аэрологического риска является одной из основных проблем системы обеспечения безопасности на угольных предприятиях. На данный момент существуют методики рекомендательного характера от МЧС России и Ростехнадзора, которые не позволяют полноценно решать важные практические задачи.

Для выбора метода анализа аэрологического риска должен учитываться: опыт и квалификация работников, выполняющих анализ, источники получения информации и этапы функционирования объекта.

На сегодняшний день можно выделить три подходящих возможных метода по оценке аэрологического риска: статистический, модельный и метод экспертных оценок.

Первый метод является статистическим. Суть данного метода заключается в статистическом анализе возможных причин возникновения аварий при нарушении аэрологической безопасности на угольном предприятии в ходе его эксплуатации.

Вторым методом по оценке аэрологического риска является модельный метод. Смысл данного метода заключается в построении моделей воздействия опасных факторов, которые могут привести к отказу шахтной вентиляционной системы угольного предприятия.

При недостаточном количестве данных или их ненадёжности применяется третий метод оценки аэрологического риска – метод экспертных оценок. Данный метод используется для прогнозирования событий будущего и их количественного измерения. Суть метода заключается в проведении опросов инженерно-технического персонала участка вентиляции.

Сложный комплексный количественный подход в оценке аэрологического риска требует большого объема информации и компромиссных решений, мнения различных специалистов горной промышленности. Поэтому в оценке аэрологической безопасности по снижению риска должно фигурировать три перечисленных подхода.

Метод оценки аэрологического риска должен представлять собой наглядную картину простейших вероятностных моделей. Поэтому принято считать, что наиболее правильными и приемлемыми методами являются – методы деревьев отказов и событий.

Одним из главных преимуществ методов деревьев отказа и событий является краткое и понятное распределение информации так, что даже рядовому сотруднику угольной промышленности без знаний теории вероятностей не составит труда найти наиболее критический, потенциально опасный вариант развития событий и оценить ожидаемый риск.

Дерево отказов представляет собой сложную и подробную модельную структуру возникновения отказов в шахтной вентиляционной системе угольного предприятия. Данный метод показывает событие, которое способно повысить аэрологический риск, а далее проводится анализ ситуаций, приводящих к возникновению такого события.

Преимуществом дерева событий является четкая последовательность сценариев, приводящих к повышению аэрологического риска. Каждое дерево событий является набором сценариев (обстоятельств), которые приводят к аварии. Данный метод позволяет представить полную картину физических процессов, приводящих элемент к критическому состоянию [35].

3 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДПРИЯТИЯ И МЕТОД АНАЛИЗА

3.1 Характеристика шахты «Березовская»

Основная деятельность АО «Угольная компания «Северный Кузбасс» – добыча каменного угля подземным способом. Шахта «Березовская» была сдана в эксплуатацию 04.11.1958 г. с производственной мощностью 1000 тыс. т угля в год, которая была освоена в 1962 г.

Основная деятельность АО «Угольная компания «Северный Кузбасс» – добыча каменного угля подземным способом. Шахта «Березовская» была сдана в эксплуатацию 04.11.1958 г. с производственной мощностью 1000 тыс. т угля в год, которая была освоена в 1962 г.

АО «Угольная компания «Северный Кузбасс» имеет лицензии на право пользования недрами на участках «Поле шахты Березовская» (лицензия КЕМ 14884 ТЭ) и «Березовский Глубокий» (лицензия КЕМ 14900 ТЭ). Добычу угля осуществляет шахта «Березовская», являющаяся структурным подразделением АО «Угольная компания Северный Кузбасс».

Шахта Березовская как шахта угольная входит в перечень опасных производственных объектов АО «Угольная компания «Северный Кузбасс» (регистрационный номер А68-02265-0001) и отнесена к I классу опасности (свидетельство о регистрации ОПО А68-02265). Данная шахта является опасной по внезапным выбросам угля и газа, разрабатывает пласты опасные по взрываемости угольной пыли, горным ударам, а также шахта «Берёзовская» отнесена ко второй категории по диоксиду углерода.

Весь уголь коксующихся марок К и КО, добываемый на шахте поступает на обогащение на ОФ «Северная». Пройдя процедуру обогащения угольный концентрат используется в металлургической и коксохимической промышленности. Характеристика двух разрабатываемых угольных пластов представлена ниже [36].

Таблица 3 – Характеристика угольных пластов шахты «Берёзовская»

№ п.п	Показатели	Наименование (индексы) пластов	
		XXVII	XXVI
1.	Мощность разрабатываемая: - полная, м	1,3-2,2	0,80-1,2
	- вынимаемая фактически, м	2,0	1,2
2.	Склонность к самовозгоранию	склонен	склонен
3.	Опасность по горным ударам	опасный с глубины 290 м.	опасный с глубины 300 м.
4.	Опасность по взрыву пыли	опасный	опасный

Продолжение таблицы 3

5.	Опасность по суфлярным выделениям CH_4	неопасный	неопасный
6.	Опасность по внезапным выбросам угля (породы) и газа	опасный с глубины 250(340) м.	опасный с глубины 300 м.
7.	Глубина разработки от поверхности, м	275	465
8.	Технический анализ угля: - влажность, %	6,3	7,0
	- зольность, %	13,2-18,4	7,5-19
	- выход летучих, %	18,6-12,2	26,8
13.	Остаточная метаноносность пластов, $\text{м}^3/\text{т}$	2,0	2,0

Рассматриваемый участок недр является частью Березово-Бирюлинского месторождения, расположенного в северо-восточной части Кемеровского геолого-экономического района Кузбасса.

Таблица 4 – Горнотехнические показатели шахты «Берёзовская» [36]

№ п.п	Показатели	Единица измерения	Значения показателей
1.	Глубина ведения горных работ	м	470
2.	Протяженность поддерживаемых горных выработок	км	53
3.	Количество действующих очистных забоев	шт	2
4.	Количество действующих подготовительных забоев	шт	2
5.	Производственная мощность шахты: - по плану	тыс.т/год	1279
	- расчетная по условиям проветривания	тыс.т/год	1927

По административному делению лицензионный участок недр входит в состав муниципальных образований «Кемеровский муниципальный округ, Арсентьевское сельское поселение, Елыкаевское сельское поселение, Щегловское сельское поселение и Березовский городской округ, Южный район». Областной центр город Кемерово расположен в 20-25 км юго-западнее границ лицензионных участков.

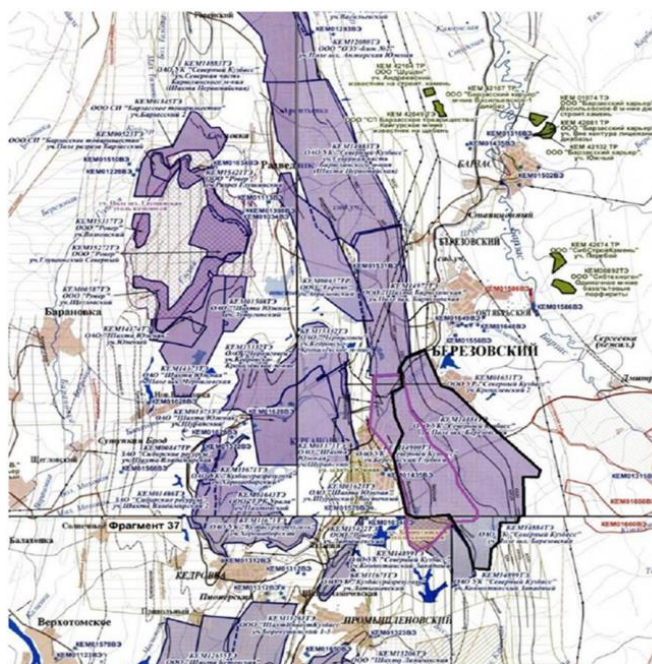


Рисунок 3 – Схема расположения смежных участков

Проветривание шахты

Проветривание шахты осуществляется двумя вентиляторными установками: ВДК-10/40 (главная и резервная), расположенными на устье нового скипового ствола и ВОД-40 (главная и резервная), расположенными на устье южного воздухоподающего ствола.

Способ проветривания шахты – нагнетательный, система проветривания – единая, схема – фланговая.

Далее в таблицах представлены характеристики двух действующих вентиляторных установок [36].

Таблица 5 – Характеристика вентилятора ВОД-40 и ВДК-10/40

Показатели	Значение	
Тип вентилятора: рабочего	ВОД-40	ВДК-10/40
резервного	ВОД-40	ВДК-10/40
Фактическая подача, м ³ /мин	10945	16316
Максимально возможная подача, м ³ /мин на существующую сеть:		
рабочего	13340	29780
резервного	13340	29780
КПД вентиляторов: рабочего	0,65	0,65
резервного	0,65	0,65
Фактическая депрессия, мм.вод.ст: рабочего	150	260
резервного	165	259
Скорость вращения колес вентилятора, об/мин:		
рабочего	375	600
резервного	375	600

Продолжение таблицы 5

Угол установки лопаток, градус:		
рабочего – макс./ факт.	45/35	45/1ст-35; 2ст-30
резервного – макс./ факт.	45/35	45/1ст-35; 2ст-30
Утечки воздуха, % : а)внешние	24,4	11,5
б)внутренние	---	---
Мощность электродвигателя, кВт: рабочего	1600	1600
резервного	1600	1600
Возможность и способ перевода в реверсированный режим проветривания:	Да Автоматический	Да Автоматический
Техническое состояние: рабочего	Удовл	Удовлетв
резервного	Удовл	Удовлетв
Оснащенность контрольно-измерительными приборами:		
Расходомеры	Есть	Есть
Депрессиометры	Есть	Есть

3.2 Построение дерева событий для отказа главного шахтного вентилятора

Дерево событий – это графическая модель безопасности аварийной ситуации. С помощью построения дерева событий можно определить пути развития аварии, которые наносят наибольший потенциальный ущерб. Анализ данных путей или ветвей развития аварии позволит внести изменения в эксплуатационные процедуры, обуславливающие наибольший вклад в риск.

Дерево событий позволяет полноценно описать все сценарии развития аварий с различными последствиями для людей, предприятия и природной среды от разных начальных событий, а также данный метод позволяет определить взаимосвязь между отказами систем и последствиями аварий, наглядно проиллюстрировав возникновение возможной ЧС на угольном предприятии.

Метод построения дерева событий состоит из нескольких этапов, главными из которых являются:

- определение аварийного события, образующего вершину дерева.
- построение последовательных событий, ведущих к конечному событию.
- проверка исследуемых возможных опасных чрезвычайных ситуаций методом качественного анализа.

Основной проблемой современного горнодобывающего комплекса – наличие метана в угольных шахтах. Вентиляция является основным технологическим звеном обеспечения безопасных условий пребывания людей под землей. Основным элементом шахтной вентиляционной системы является вентилятор главного проветривания.

В данной работе построено дерево событий возникновения чрезвычайной ситуации с отказом вентилятора главного проветривания ВОД-40 на предприятии шахта «Березовская». Гарантийный срок эксплуатации данной модели вентилятора – 30 месяцев. Вероятность безотказной работы вентиляционных установок ВОД-40 для гарантийного срока службы $P(t) = 0,95$, через 3 года работы $P(t) = 0,55$ [37].

Данное «дерево событий» построено при наличии нового резервного вентилятора главного проветривания (ВОД-40) с вероятностью безотказной работы $P(t) = 0,95$.

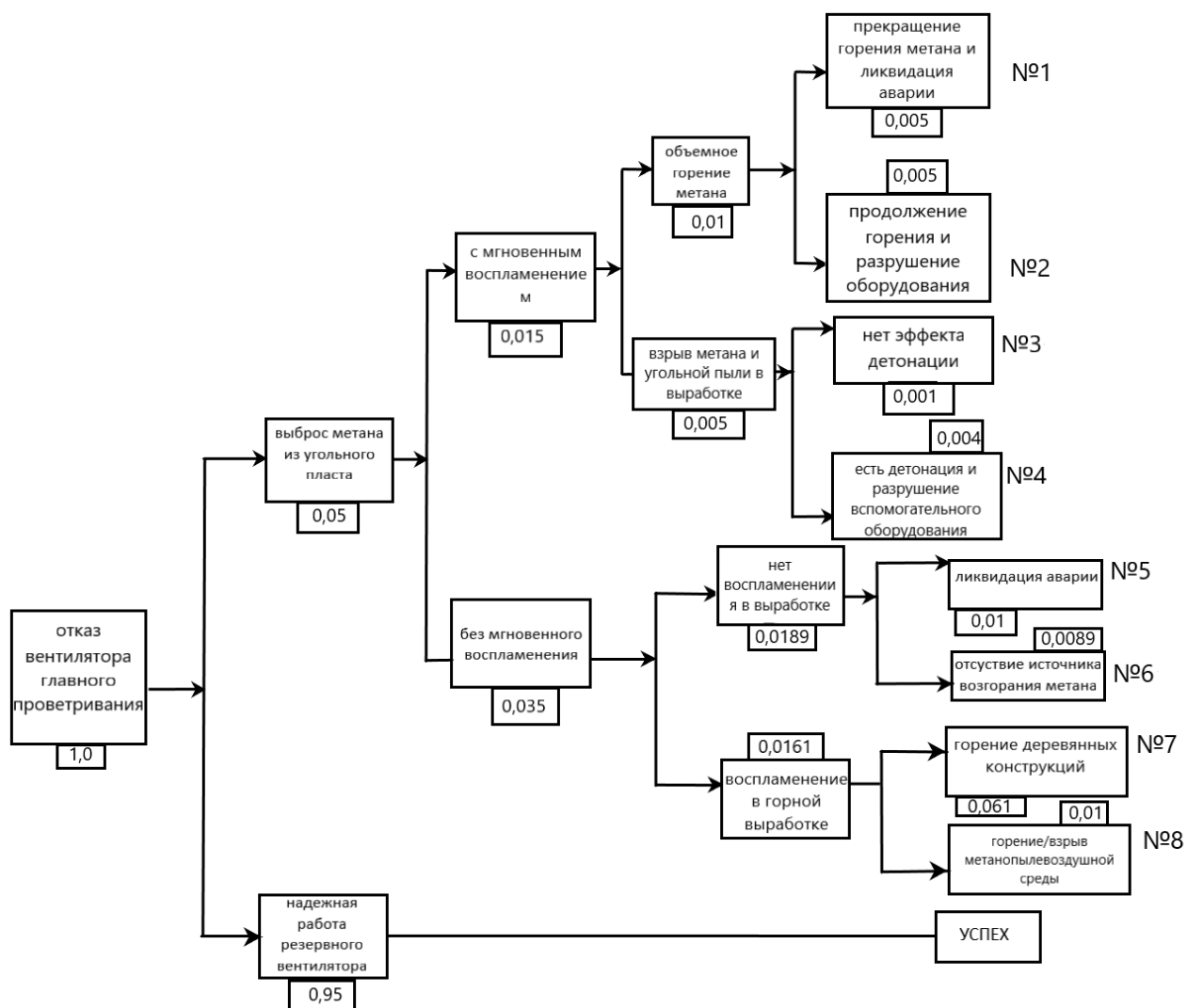


Рисунок 4 – Дерево событий возникновения аварии при внезапном отказе главного вентилятора с новым резервным вентилятором

При отказе главной вентиляторной установки возможно развитие двух событий: 1) включение исправного резервного вентилятора идентичной модели (ВОД-40); 2) при ненадлежащей работе резервного вентилятора происходит выброс и накопление метана в рудничной атмосфере горных выработок.

Расчет частоты каждого сценария развития аварийной ситуации производится путем умножения частоты основного события на условную вероятность конечного события. Значения условных вероятностей была приняты на основе анализа литературных источников [38].

Условная вероятность сценария №1 при наличии нового резервного вентилятора (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → мгновенное воспламенение → объемное горение метана в выработке →прекращение горения метана и ликвидация аварии):

$$P_1 = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4 = 0.05 \cdot 0.015 \cdot 0.01 \cdot 0.005 = 3,75 \cdot 10^{-8}$$

С учетом величины вероятности безотказной работы вентиляционных установок ВВД-40 для гарантийного срока службы $P(t) = 0,95$, получаем, что вероятность отказа главного вентилятора будет составлять $F_0 = 1 - P(t) = 0,05$ [39]. Тогда вероятность конечного события определится как произведение условной вероятности этого события на вероятность отказа главного вентилятора.

$$P'_1 = P_1 \cdot F_0 = 3,75 \cdot 10^{-8} \cdot 0.05 = 1,875 \cdot 10^{-9}$$

Условная вероятность сценария №2 при наличии нового резервного вентилятора (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → мгновенное воспламенение → объемное горение метана в выработке → разрушение горного оборудования):

$$P_2 = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_5 = 0.05 \cdot 0.015 \cdot 0.01 \cdot 0,005 = 3,75 \cdot 10^{-8}$$

$$P'_2 = P_2 \cdot F_0 = 3,75 \cdot 10^{-8} \cdot 0.05 = 1,875 \cdot 10^{-9}$$

Условная вероятность сценария №3 при наличии нового резервного вентилятора (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → мгновенное воспламенение → взрыв метана в атмосфере подготовительной выработки → эффекта детонации нет):

$$P_3 = S_1 \cdot S_2 \cdot S_6 \cdot S_7 = 0.05 \cdot 0.015 \cdot 0.005 \cdot 0,001 = 3,75 \cdot 10^{-9}$$

$$P'_3 = P_3 \cdot F_0 = 3,75 \cdot 10^{-9} \cdot 0.05 = 1,875 \cdot 10^{-10}$$

Условная вероятность сценария №4 при наличии нового резервного вентилятора (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → мгновенное воспламенение → взрыв метана в атмосфере подготовительной выработки →разрушение вспомогательного оборудования):

$$P_4 = S_1 \cdot S_2 \cdot S_6 \cdot S_8 = 0.05 \cdot 0.015 \cdot 0.005 \cdot 0,004 = 1,5 \cdot 10^{-8}$$

$$P'_4 = P_4 \cdot F_0 = 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot 0.05 = 7,5 \cdot 10^{-10}$$

Условная вероятность сценария №5 при наличии нового резервного вентилятора (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → без мгновенного воспламенения → нет воспламенения в горных выработках → ликвидация аварий):

$$P_5 = S_1 \cdot S_9 \cdot S_{10} \cdot S_{12} = 0.05 \cdot 0.035 \cdot 0.0189 \cdot 0.01 = 3,3 \cdot 10^{-7}$$

$$P'_5 = P_5 \cdot F_0 = 3,3 \cdot 10^{-7} \cdot 0.05 = 1,65 \cdot 10^{-8}$$

Условная вероятность сценария №6 при наличии нового резервного вентилятора (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → без мгновенного воспламенения → нет воспламенения в горных выработках → отсутствие источника возгорания метана):

$$P_6 = S_1 \cdot S_9 \cdot S_{10} \cdot S_{13} = 0.05 \cdot 0.035 \cdot 0.0189 \cdot 0.0089 = 2,9 \cdot 10^{-7}$$

$$P'_6 = P_6 \cdot F_0 = 2,9 \cdot 10^{-7} \cdot 0.05 = 1,45 \cdot 10^{-7}$$

Условная вероятность сценария №7 при наличии нового резервного вентилятора (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → без мгновенного воспламенения → воспламенение метана в горных выработках → горение деревянных конструкций)

$$P_7 = S_1 \cdot S_9 \cdot S_{11} \cdot S_{14} = 0.05 \cdot 0.035 \cdot 0.0161 \cdot 0.0061 = 1,7 \cdot 10^{-7}$$

$$P'_7 = P_7 \cdot F_0 = 1,7 \cdot 10^{-7} \cdot 0.05 = 8,5 \cdot 10^{-9}$$

Условная вероятность сценария №8 при наличии нового резервного вентилятора (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → без мгновенного воспламенения → воспламенение метана в горных выработках → горение или взрыв метановоздушной среды):

$$P_8 = S_1 \cdot S_9 \cdot S_{11} \cdot S_{15} = 0.05 \cdot 0.035 \cdot 0.0161 \cdot 0.01 = 2,8 \cdot 10^{-7}$$

$$P'_8 = P_8 \cdot F_0 = 2,8 \cdot 10^{-7} \cdot 0.05 = 1,4 \cdot 10^{-8}$$

На основании полученных данных можно сделать вывод, что самой большой величиной вероятности обладает сценарий №8.

На данном производственном объекте прибегают к практике замены вентиляторов. Таким образом, после трех лет работы главный вентилятор перемещается на место резервного. Тем самым, резервный вентилятор начинает свою работу с вероятностью безотказной работы не 0,95, а уже 0,55.

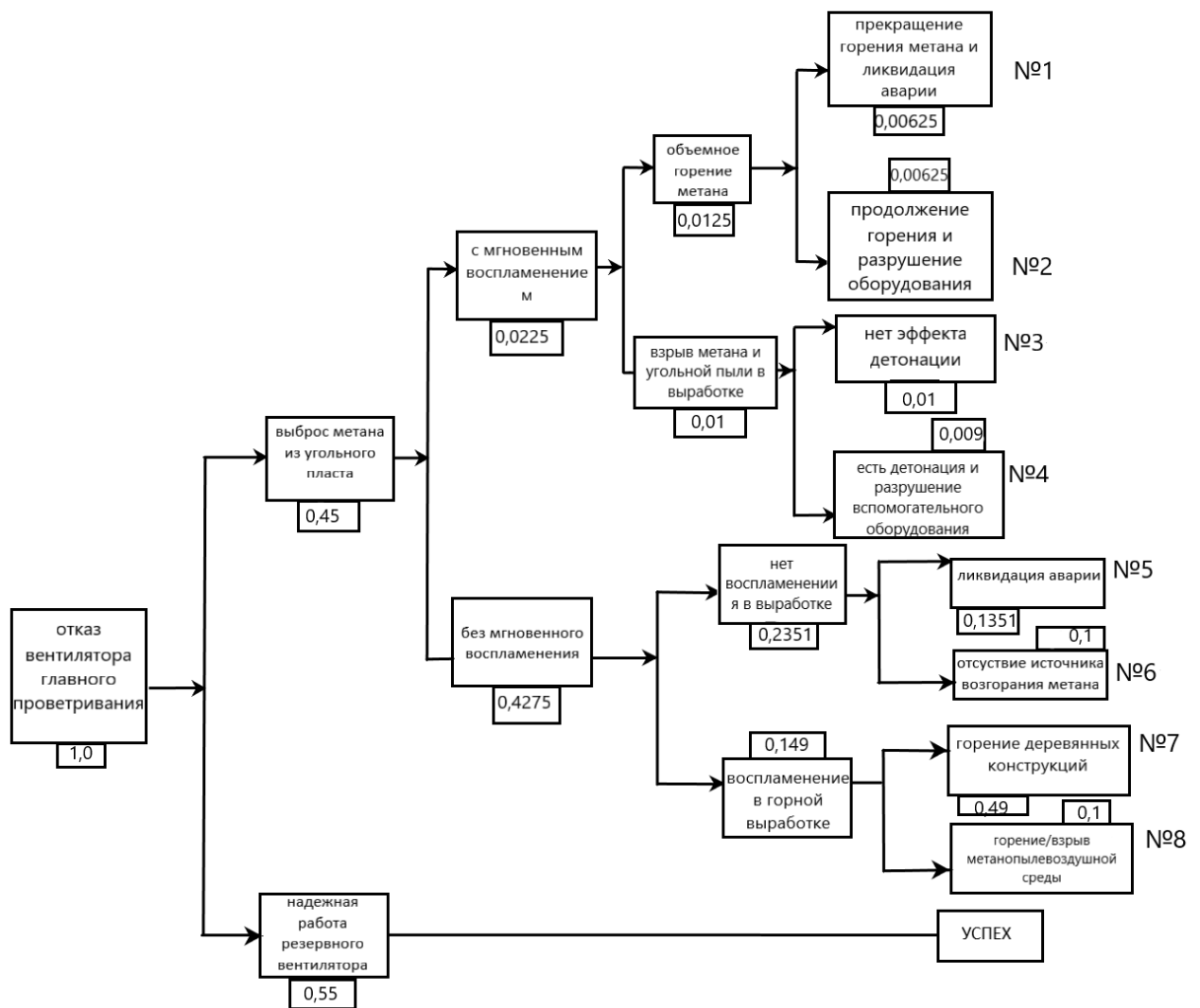


Рисунок 5 – Дерево событий возникновения аварии при внезапном отказе главного вентилятора с отработанным резервным вентилятором

Условная вероятность сценария №1 (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → мгновенное воспламенение → объемное горение метана в выработке → прекращение горения метана и ликвидация аварии):

$$P_1 = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4 = 0,45 \cdot 0,0225 \cdot 0,0125 \cdot 0,00625 = 7,9 \cdot 10^{-7}$$

С учетом величины вероятности безотказной работы вентиляционных установок ВВД-40 для гарантийного срока службы $P(t) = 0,95$, получаем, что вероятность отказа главного вентилятора будет составлять $F_0 = 1 - P(t) = 0,05$. Тогда вероятность конечного события определится как произведение условной вероятности этого события на вероятность отказа главного вентилятора.

$$P'_1 = P_1 \cdot F_0 = 7,9 \cdot 10^{-7} \cdot 0,05 = 3,95 \cdot 10^{-8}$$

Условная вероятность сценария №2 (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → мгновенное воспламенение → объемное горение метана в выработке → разрушение горного оборудования):

$$P_2 = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_5 = 0.45 \cdot 0.0225 \cdot 0.0125 \cdot 0.00625 = 7.9 \cdot 10^{-7}$$

$$P'_2 = P_2 \cdot F_0 = 7.9 \cdot 10^{-7} \cdot 0.05 = 3.95 \cdot 10^{-8}$$

Условная вероятность сценария №3 (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → мгновенное воспламенение → взрыв метана в атмосфере подготовительной выработки → эффекта детонации нет):

$$P_3 = S_1 \cdot S_2 \cdot S_6 \cdot S_7 = 0.45 \cdot 0.0225 \cdot 0.01 \cdot 0.001 = 1.01 \cdot 10^{-7}$$

$$P'_3 = P_3 \cdot F_0 = 1.01 \cdot 10^{-7} \cdot 0.05 = 5.05 \cdot 10^{-9}$$

Условная вероятность сценария №4 (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → мгновенное воспламенение → взрыв метана в атмосфере подготовительной выработки → разрушение вспомогательного оборудования):

$$P_4 = S_1 \cdot S_2 \cdot S_6 \cdot S_8 = 0.45 \cdot 0.0225 \cdot 0.01 \cdot 0.009 = 9.11 \cdot 10^{-7}$$

$$P'_4 = P_4 \cdot F_0 = 9.11 \cdot 10^{-7} \cdot 0.05 = 4.55 \cdot 10^{-8}$$

Условная вероятность сценария №5 (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → без мгновенного воспламенения → нет воспламенения в горных выработках → ликвидация аварий):

$$P_5 = S_1 \cdot S_9 \cdot S_{10} \cdot S_{12} = 0.45 \cdot 0.4275 \cdot 0.2351 \cdot 0.1351 = 6.11 \cdot 10^{-3}$$

$$P'_5 = P_5 \cdot F_0 = 6.11 \cdot 10^{-3} \cdot 0.05 = 3.05 \cdot 10^{-4}$$

Условная вероятность сценария №6 (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → без мгновенного воспламенения → нет воспламенения в горных выработках → отсутствие источника возгорания метана):

$$P_6 = S_1 \cdot S_9 \cdot S_{10} \cdot S_{13} = 0.45 \cdot 0.4275 \cdot 0.2351 \cdot 0.1 = 4.52 \cdot 10^{-3}$$

$$P'_6 = P_6 \cdot F_0 = 4.52 \cdot 10^{-3} \cdot 0.05 = 2.26 \cdot 10^{-4}$$

Условная вероятность сценария №7 (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → без мгновенного воспламенения → воспламенение метана в горных выработках → горение деревянных конструкций):

$$P_7 = S_1 \cdot S_9 \cdot S_{11} \cdot S_{14} = 0.45 \cdot 0.4275 \cdot 0.149 \cdot 0.049 = 1.4 \cdot 10^{-3}$$

$$P'_7 = P_7 \cdot F_0 = 1.4 \cdot 10^{-3} \cdot 0.05 = 7 \cdot 10^{-5}$$

Условная вероятность сценария №8 (отказ главного вентилятора → выброс метана из угольного пласта → без мгновенного воспламенения → воспламенение метана в горных выработках → горение или взрыв метановоздушной среды):

$$P_8 = S_1 \cdot S_9 \cdot S_{11} \cdot S_{15} = 0.45 \cdot 0.4275 \cdot 0.149 \cdot 0.1 = 2.8 \cdot 10^{-3}$$

$$P'_8 = P_8 \cdot F_0 = 2.8 \cdot 10^{-3} \cdot 0.05 = 1.4 \cdot 10^{-4}$$

Таким образом, можно сделать вывод, что при внезапном выходе из строя вентилятора главного проветривания и включения отработанного резервного вентилятора, вероятность возникновения сценария №8 больше в 10^4 , чем при условии использования нового резервного вентилятора.

3.3 Рекомендации по повышению эффективности работы шахтной вентиляции

Учитывая, что шахтные вентиляторы имеют специфический характер построения и внедрения в систему, мероприятия по повышению эффективности и надёжности подразделяются на две группы: доэксплуатационные и эксплуатационные.

К доэксплуатационным мероприятиям по повышению эффективности работы вентиляторных установок относятся:

- минимизация числа элементов оборудования, применение высококачественных деталей;
- снижение динамических нагрузок на элементы;
- проведение предварительных испытаний и анализ параметров безотказной работы.

Недостаточная эффективность вентиляторов, выявляемая до эксплуатации – отказы основных узлов (отказы лопаток ротора, валов, подшипников).

Эксплуатационными мероприятиями по повышению эффективности считаются:

- обеспечение надёжной подачи электроэнергии к вентиляторной установке;
- качественный монтаж и ремонт;
- проведение предпусковых испытаний;
- обеспечение квалифицированного рабочего персонала, квалификация персонала позволяет значительно уменьшить вероятность отказа установки и снизить время восстановления;
- поддержание нормальной температуры и влажности воздуха в помещениях для электрооборудования.

Во избежание ненадёжной работы вентиляторной установки проводятся мероприятия по повышению устойчивой работы вентиляторной установки:

- проверка режима выбранного вентилятора на устойчивость в процессе привязки к данной вентиляционной цепи;

- проверка на устойчивость режима при совместном проветривании;
- соблюдение герметичности установки;
- контроль за попаданием пыли в вентилятор;
- установка аппаратуры дистанционного управления и контроля.

На основе проведенного исследования можно выделить для реализации повышения эффективности эксплуатации вентиляторов главного проветривания следующие мероприятия:

- использование новых вентиляторов главного проветривания на месте резервных.
- замена осевых вентиляторов ВОД-40 более надежными центробежными аналогами вентиляторов, так как вентиляционные установки ВОД-40 относятся ко 2 классу надежности (вероятность безотказной работы 0,98...0,95), следовательно, остановка главного вентилятора вызовет длительный выход из строя стационарного оборудования.
- использование минимум двух дополнительных трансформаторных установок для главного вентилятора, так как шахта «Березовская» относится к сверхкатегорным шахтам, следовательно, является объектом I категории потребления электроэнергии, что требует установки минимум двух дополнительных трансформаторов и 100% резерв источника питания для собственных нужд.
- проведение качественного и современного технического диагностирование имеющихся вентиляторов при соблюдении требований установленной нормативно-технической документации.

Техническое обслуживание главной вентиляторной установки должно проводиться:

- 1) ежемесячно (проверка исправности работы вентилятора, внешний осмотр на отсутствие течи, проверка вибрации и шумов, поддержание чистоты в помещении вентиляционной установки);
- 2) ежесуточно (проверка работы резервной установки, проверка на отсутствие видимых повреждений, проверка температуры подшипников);
- 3) каждые две недели (получение информации о состоянии оборудования, проверка состояния резервной установки, проверка режимов работы, проверка правильности работы контрольно-измерительных приборов).

Так, для сокращения времени поиска неисправностей, которые могут привести к износу основных элементов вентилятора, предлагается использовать карту технического состояния вентиляторов:

Неисправность	Симптом или изменение параметра								
	Утечка газа/жидкости	Линейный размер	Мощность	Давление или вакуум	Скорость	Вибрация	Температура	Загрязнение масла	Утечка масла
Повреждение рабочего колеса		*	*	*	*	*	*	*	
Повреждение уплотнения	*	*		*	*			*	
Погрешность формы рабочего колеса			*	*	*	*	*		
Повреждение подшипников		*	*		*	*	*	*	*
Износ подшипников		*				*	*	*	
Погрешность монтажа						*			
Дисбаланс						*			
Несоосность валов		*				*			

Рисунок 6 – Карта контроля технического состояния вентилятора

На участке главной вентиляторной установки обязательно проводится ремонтное обслуживание:

- 1) ежемесячное (очистка люков от пыли и грязи, проверка сварочных швов, очистка лопаток ротора и подшипников от пыли, грязи и окалины);
- 2) полугодовой текущий ремонт (проверка величин зазора, замена масла, очистка колеса от пыли).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1E91	Некрасовой Алене Владимировне

Школа	ИШНКБ	Отделение Школа	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	Определение потенциального потребителя результатов исследования Анализ конкурентных технических решений SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности ИР	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет ИП
5. Основные показатели эффективности ИП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E91	Некрасова Алена Владимировна		

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки.
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью данного исследования является обеспечение промышленной безопасности и разработка мероприятий по повышению эффективности работы шахтной вентиляционной системы при чрезвычайной ситуации. В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» определяется перспектива и оценка эффективности исследования, возможных рисков.

Разработка исследования производится группой работников, состоящей из двух человек – научного руководителя и инженера.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 8.

Таблица 6 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{руч}	Б _{пр}	К _{руч}	К _{пр}
Критерии оценки эффективности применения методики расчета					
1. Спрос методики расчета	0,1	3	4	0,3	0,4
2. Удобство в эксплуатации методик	0,12	4	5	0,48	0,6
3. Точность в расчетах	0,08	4	5	0,32	0,4
4. Возможности расчета по методике	0,06	5	5	0,3	0,3
5. Универсальность метода расчета	0,08	5	4	0,4	0,32
6. Эффективность расчета	0,1	3	4	0,3	0,4
7. Погрешность в расчетах	0,2	3	3	0,6	0,6
8. Эксплуатация на конкретном предприятии	0,1	2	5	0,2	0,5
9. Требовательность к полноте исходных данных	0,3	5	5	1,5	1,5
Итого	1	34	40	4,4	5,02

Где: Б_{руч} – методика расчета, выполняемая вручную, Б_{пр} – методика расчета риска с использованием специализированного программного продукта. Конкурентные технические решения определяются по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (1)$$

Где, К – конкурентоспособность разработки, В_і – вес показателя (выражается в долях единицы), В_і – балл і-го показателя.

Вывод: конкурентоспособность метода расчета пожарного риска вручную оценена в 4,4 балла, а конкурентоспособность метода расчета риска при помощи специализированного программного продукта – в 5,02 балла.

Оценки показывают, что метод расчета с использованием программного продукта является наиболее эффективным для расчета риска ЧС для угольной шахты.

1.1.2. SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

На первом этапе SWOT анализа в таблице 7 описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации НИ.

Таблица 7 – Матрица SWOT анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Способствует уменьшению риска возникновения ЧС в горной выработке на начальной стадии его выявления; С2. Обеспечит улучшение безопасности производственного труда.	Сл1. Отсутствие необходимых знаний и квалификации для описания дополнений к приложению вентиляционного плана шахты; Сл2. Отсутствие бюджетного финансирования; Сл3. Отсутствие запроса на дополнение и внесение изменений в вентиляционный план шахты.
Возможности	Угрозы
В1. Отсутствие конкуренции. В2. Отсутствие временных ограничений на внесение дополнений в вентиляционный план шахты.	У1. Отказ предприятия на внесения изменений приложения вентиляционного плана шахты; У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования.

Второй этап включает в себя выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. В рамках данного этапа необходимо построить матрицу проекта. Построение матрицы выявляется возможность и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах ниже.

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта			
Возможности проекта		C1	C2
	B1	+	+
	B2	+	+

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	+	+
	B2	+	-	-

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта			
Угрозы проекта		C1	C2
	У1	-	-
	У2	-	+

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	+	+	+

Таблица 12 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны НИ: С1. Способствует уменьшению риска возникновения ЧС в горной выработке на начальной стадии его выявления; С2. Обеспечит улучшение безопасности производственного труда.	Слабые стороны НИ: Сл1. Отсутствие необходимых знаний и квалификации для описания дополнений к приложению вентиляционного плана шахты; Сл2. Отсутствие бюджетного финансирования; Сл3. Отсутствие запроса на дополнение и внесение изменений в вентиляционный план шахты.
Возможности проекта: В1. Отсутствие конкуренции; В2. Отсутствие временных ограничений на внесение дополнений в вентиляционный план шахты.	Направления развития В2С1С2. Улучшение безопасности производственной среды, низкие затраты ресурсов.	Сдерживающие факторы В1Сл1Сл2. Финансовая помощь для проекта.

Продолжение таблицы 12

Угрозы проекта: У1. Отказ предприятия на внесения изменений приложения вентиляционного плана шахты; У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования.	Угрозы развития У1С1.Постоянное улучшение безопасности на шахте снизит возможность перечисленных угроз.	Уязвимости У2Сл3.Работа может оказаться невостребованной.
--	---	---

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над недостатками. Данные недостатка, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения.

4.2 Планирование работ по научно-техническому исследованию

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Структура работы для научного исследования по теме «Повышение эффективности шахтной вентиляционной системы при чрезвычайной ситуации» для АО «Угольная компания «Северный Кузбасс» шахта «Березовская» представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень этапов работы и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы НИР	Научный руководитель

Продолжение таблицы 13

Выбор направления исследования	2	Выбор направления исследования	Инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме НИР	Инженер
	4	Составление календарного плана-графика выполнения НИР	Научный руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение исследования, выполнение поставленных задач	Инженер
	6	Согласование полученных данных с научным руководителем	Научный руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, инженер
	8	Работа над выводами по проекту	Инженер
Оформление отчета по НИР	10	Оформление расчетно-пояснительной записки НИР	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, который зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения среднего значения трудоемкости t_{oji} используется следующая формула:

$$t_{oji} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (2)$$

где t_{oji} – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни; t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной формулы i -ой работы, человеко-дни; t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

Далее исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работы. Данный расчет позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{oji}}{Ч_i}, \quad (3)$$

где, T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни; t_{oji} – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Целью построения ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта является перевод длительность каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные дни. Для этого использована следующая формула:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4)$$

где, T_{ki} – продолжительность выполнения i-й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i-й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - (T_{вых} + T_{пр})}, \quad (5)$$

где, $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

$$\text{Расчет коэффициента календарности: } k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - (T_{вых} + T_{пр})} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

Таблица 14 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
		t_{min}		t_{max}		t_{oji}			
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Составление и утверждение темы НИР	1	-	3	-	1,8	-	1,8	3
2	Выбор направления исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
3	Подбор и изучение материалов по теме НИР	-	14	-	21	-	16,8	16,8	25
4	Составление календарного плана-графика выполнения НИР	1	1	3	2	1,8	1,4	1,6	2
5	Проведение исследования, выполнение поставленных задач	-	14	-	21	-	16,8	16,8	25

Продолжение таблицы 14

6	Согласование полученных данных с научным руководителем	3	1	7	3	4,6	1,8	3,2	5
7	Оценка эффективности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
8	Работа над выводами по проекту	-	10	-	15	-	12	12	18
9	Оформление расчетно-пояснительной записки НИР	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
Итого:		7	51	17	79	11	62,2	65,1	98

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

Наиболее удобным и наглядным представлением проведения научных работ является построение ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план выполнения работ. Для построения таблицы временных показателей проведения НИ был рассчитан коэффициент календарности. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, указывающая на целесообразность проведения данного исследования (таблица 15).

Таблица 15 – Календарный план-график проведения НИ

№	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февраль			март			апрель			май		
1	Составление и утверждение темы НИР	Науч. рук-ль	3	■											
2	Выбор направления исследований	Инженер	6		■										
3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	25			■									
4	Календарное планирование работ	Науч. рук-ль, инженер	2				■								
5	Проведение, исследование, выполнение поставленных руководителем задач	Инженер	25					■							
6	Согласование полученных данных с научным руководителем	Науч. рук-ль, инженер	5						■						

[illegible]

4.3 Бюджет научного исследования

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

Для выполнения данного научного исследования необходимы материалы. Данные по материальным затратам представлены в таблице ниже.

Наименование	Единицы измерения	Количество	Цены за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	лист	500	0,4	200
Ручка	шт.	4	60	240
Карандаш	шт.	4	35	140
Картридж	шт.	1	1000	1000
Блокнот	шт.	2	80	160
Итого				1740

63

поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ПЭВМ - Asus. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 3 года.

Таблица 17 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ПЭВМ	1	3	30	30
Итого		30 тыс. руб.			

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (6)$$

где, n – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m, \quad (7)$$

где, I – итоговая сумма, тыс. руб., m – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 30000}{12} \cdot 3 = 2475 \text{ руб.}$$

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей работы

Данный раздел включает в себя основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату и рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \times З_{\text{доп}} \quad (8)$$

где, $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (15% от основной).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \times T_p \quad (9)$$

где, $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб., T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = \frac{Z_M \times M}{F_d} \quad (10)$$

где, Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Месячный должностной оклад работника (научного руководителя):

$$Z_M = Z_{\text{тс}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \times k_p \quad (11)$$

где, $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (30% от заработной платы по тарифной ставке); k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Далее представлена таблица, характеризующая баланс рабочего времени по показателям.

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число людей	365	365
Количество нерабочих дней: - выходные дни - праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыход по болезни	48 0	0 0
Действительный годовой фонд рабочего времени	190	200

Далее в таблице ниже представлен расчет основной заработной платы научного руководителя и инженера.

Таблица 19 – Расчет основной заработной платы научного руководителя и инженера

Исполнители	k_T	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	k_d	k_p	Z_M , руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Научный руководитель	1,866	30000	0,3	0,3	1,3	62400	2525,2	11	27777
Инженера	1,407	15000	0	0	1,3	7800	346,67	62,2	53906,9
Итого									81683,9

4.3.4 Расчет дополнительной заработной платы

Расчет дополнительной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \times З_{\text{осн}} \quad (12)$$

где, $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

Дополнительная заработная плата научного руководителя составила:

$$З_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 27777 = 4166,55 \text{руб.}$$

Дополнительная заработная плата инженера составила:

$$З_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 53906,9 = 8086,03 \text{руб.}$$

Далее в таблице представлена дополнительная заработная плата исполнителей научного исследования.

Таблица 20 – Дополнительная заработная плата исполнителей НИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	27777	53906,9
Дополнительная зарплата	4166,55	8086,03
Итого, руб.	12252,58	

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяются исходя из формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (13)$$

где, $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского образования и другие).

Величина отчислений во внебюджетные фонды для научного руководителя:

$$З_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (27777 + 4166,55) = 9583,06 \text{руб.}$$

Величина отчислений во внебюджетные фонды для студента:

$$З_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (53906,9 + 8086,03) = 18597,87 \text{руб}$$

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \times k_{\text{нр}} \quad (14)$$

где, $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

$$Z_{накл} = (1740 + (27777 + 53906,9) + (4166,55 + 8086,03) + 28180,93) \times 0,16 = 19817,18 \text{ руб.}$$

4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанные выше величины затрат научно-исследовательской работы представляет собой основу формирования бюджета затрат проекта. В таблице ниже представлены сводные показатели, которые формируют бюджет затрат на НИР.

Таблица 21 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
		Текущий проект	Исп.2	
1	Материальные затраты НИР	1740	4590	Пункт 3.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	2475	12350	Пункт 3.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	81683,9	81683,9	Пункт 3.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12252,58	12252,58	Пункт 3.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	28180,93	28180,93	Пункт 3.3.5
6	Накладные расходы	19817,18	19817,18	Пункт 3.3.6
Бюджет затрат НИР		146149,59	158874,59	Сумма ст. 1- 6

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождения связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется:

$$I_{фин.р}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (15)$$

где, $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп } i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{фин.р}}^1 = \frac{146149,59}{158874,59} = 0,91$$

$$I_{\text{фин.р}}^2 = \frac{158874,59}{158874,59} = 1;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i \quad (16)$$

где, I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го вариант исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта представлены в таблице ниже.

Таблица 22 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Объект исследования		
	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2
Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5	3
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4
Помехоустойчивость	0,2	5	3
Энергосбережение	0,15	4	4
Надежность	0,2	5	4
Материалоемкость	0,5	5	3
Итого	1	7,1	3,55

$$I_{p-\text{тек.пр}} = 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,5 \cdot 5 = 7,1;$$

$$I_{p-\text{исп.2}} = 0,25 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,5 \cdot 3 = 4,85;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{тек.пр.}} = \frac{I_{\text{р-тек.пр.}}}{I_{\text{фин.р.}}} = \frac{7,1}{0,91} = 7,8;$$

$$I_{\text{исп.2.}} = \frac{I_{\text{р-исп.2.}}}{I_{\text{фин.р.}}} = \frac{4,85}{1} = 4,85;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{науч.рук.}}}{t_{\text{инж.}}} \quad (17)$$

Таблица 23 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатель	Текущий проект	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,91	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	7,1	4,85
3	Интегральный показатель эффективности	7,8	4,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,6

Вывод по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является метод расчета с использованием специализированного программного продукта, это будет наиболее эффективно и целесообразно.

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для научного руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 98 дней, общее количество календарных дней, в течении которых работал инженер – 95 дней и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель – 20 дней.

3. Был разработан проектный бюджет для оценки затрат на реализацию проекта: 146149,59 руб.

4. Результат оценки эффективности НИР показывает: значение интегрального финансового показателя НИР составляет 0,91, что является показателем того, что НИР является финансово выгодной по сравнению с аналогом; значение интегрального показателя ресурсоэффективности НИР составляет 7,1, по сравнению с 4,85.

5. Значение интегрального показателя эффективности НИР составляет 7,8, по сравнению с 4,85, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в НИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 1E91		ФИО Некрасовой Алене Владимировне	
Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

Тема ВКР:

Повышение эффективности работы шахтной системы вентиляции при чрезвычайной ситуации	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение – Характеристика объекта исследования прибор и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации.	<i>Объект исследования</i> является угледобывающее предприятие по подземной добыче угля (шахта). <i>Область применения:</i> энергетика, шахта. <i>Рабочая зона:</i> производственное помещение. <i>Размеры помещения</i> 225*123м <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> главный вентилятор – 2 шт., резервный вентилятор – 2 шт. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> контроль параметров и исправности вентиляционных установок, монтажные и ремонтные работы в период эксплуатации шахты.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах», утверждённые приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 года № 507; Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»; ТК РФ Глава 51.1 Особенности регулирования труда работников, занятых на подземных работах.
2. Производственная безопасность при эксплуатации: – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов	Вредные факторы: 2. Повышенный уровень шума; 3. Повышенный уровень общей вибрации; 4. Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе; 5. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения. Опасные факторы: 1. Механические опасности, связанные с движущимися машинами и механизмами; 2. Электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий; 3. Образование взрывоопасной среды.

	Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: спецодежда, спецобувь, рукавицы, каска, противопылевые респираторы, самоспасатель, предохранительные пояса, диэлектрические перчатки и обувь.
3. Экологическая безопасность при эксплуатации	Воздействие на литосферу: нарушение поверхности земли в связи с изъятием из недр полезных ископаемых; Воздействие на гидросферу: откачка подземных вод с повышенной кислотностью в водоёмы Воздействие на атмосферу: пылегазовые выбросы загрязняющих веществ.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	Возможные ЧС: взрывы метанопылевоздушных смесей, подземные пожары, внезапные выбросы угля, газа, загазирование выработок вредными газами, обрушение горных выработок. Наиболее типичная ЧС: взрывы метанопылевоздушных смесей.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
01.03.2023	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е91	Некрасова Алена Владимировна		

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Угольная промышленность считается одной из самых трудоёмких и опасных промышленностей России. В данной работе рассматривается производственный объект с шахтным методом добычи полезного ископаемого.

На сегодняшний день одной из актуальных проблем обеспечения безопасных условий труда рабочих на шахтах, которые разрабатывают вредные и опасные по взрывам угольные пласты, является борьба со взрывами метана и угольной пыли. Если состояние шахтной вентиляционной системы неудовлетворительно, то локальные скопления метана или взвешенной угольной пыли могут привести к взрывам и их распространению на значительное расстояние горных выработок.

На участке аэрологической безопасности в помещении главной вентиляционной установки расположено: главная и резервная вентиляционные установки ВОД-40 массой 50 тонн и размерами 15×7 метров, а также главная и резервная вентиляционные установки ВДК-10/40 массой 40 тонн и размерами 13×6 метров, в помещении расположены средства пожаротушения, СИЗ, внутренний телефон. Размеры помещения 225×123м. Главная и резервная вентиляционная установка путем нагнетания воздуха поворотными лопатками осуществляется проветривания подземных выработок по вентиляционным сетям.

За последние годы в результате обновления и внедрения нового технологического оборудования подвергается изменениям геологические и горнотехнические условия труда, что способствует повышению пылеобразованности и газообильности шахт, а это в свою очередь привело к повышенной опасности взрывов.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно действующему законодательству Российской Федерации подземные работы отнесены к числу работ, выполняемых в неблагоприятных условиях, поэтому для лиц занятых на указанных видах работ, предусмотрена сокращённая продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю, дополнительные отпуска – не менее 7 календарных дней и повышенный размер оплаты труда – не менее 4% оклада, установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

На подземных работах запрещается применение труда лиц в возрасте до 18 лет. Лица, принимаемые на подземные работы, не должны иметь медицинские

противопоказания у указанным работам и должны удовлетворять соответствующим квалификационным требованиям. Медицинские осмотры работодатель проводит до начала смены и после, для всех работников, занятых в подземных работах.

Для всех сотрудников угольной шахты бесплатно предоставляется спецодежда, обувь и другие средства индивидуальной защиты. Для работника участка аэрологической безопасности при обслуживании шахтной вентиляционной установки предоставляются: каска, защитные очки, защита органов дыхания, газоанализатор, защитная обувь, наушники, спецодежда, защитные перчатки.

Работа горнорабочего связана с рисками для жизни и здоровья, поэтому в некоторых случаях самому работнику или его семье может быть выплачена компенсация. Компенсация полагается при: получении производственной травмы или профессионального заболевания, при присвоении инвалидной группы ввиду получения травмы или заболевания во время работы на шахте, гибели шахтера во время работы на шахте [40].

Работы с повышенной опасностью в шахте выполняют в соответствии с нарядом-допуском на проведение работ. Состояние горных выработок шахты ежедневно контролируют инженерно-техническими работниками. Также на шахте должна быть организована многофункциональная система безопасности, которая производит контроль и управление стационарными вентиляторными и дегазационными установками [2].

Опасные производственные объекты в зависимости от уровня потенциальной опасности аварий на них для жизненно важных интересов личности и общества подразделяются на четыре класса опасности. Угольная шахта является опасным производственным объектом I класса [5].

5.2 Производственная безопасность

Обслуживание шахтных вентиляционных установок осуществляется работниками участка аэрологической безопасности шахты. При выполнении данного вида работ согласно «ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» могут иметь место следующие факторы, представленные в таблице 26[41]:

Таблица 24 – Возможные опасные и вредные производственные факторы при обслуживании шахтных вентиляционных установок

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Механические опасности, связанные с движущимися машинами и механизмами	ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
2. Электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по электроснабжению угольных шахт», утверждённые приказом от 28 октября 2020 года № 429.
3. Образование взрывоопасной среды;	ГОСТ 31610.0-2014. Взрывоопасные среды. Оборудование. Общие требования.
4. Повышенный уровень шума	СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
5. Повышенный уровень общей вибрации;	СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
6. Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе	СанПиН 2.2.3.570-96 Гигиенические требования к предприятиям угольной промышленности и организации работ.
7. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.

5.3 Механические опасности, связанные с движущимися машинами и механизмами

Одной из основных возможных факторов опасностей на участке шахтной вентиляционной системы являются движущиеся части производственного вентилятора, которые являются возможным источником травмоопасности.

Данный производственный фактор может привести к травме при контакте человека с движущейся частью оборудования. В результате работник получает внешние кожные повреждения с нарушением целостности кожных покровов или слизистых оболочек, которые сочетаются с внутренними повреждениями (переломы костей, разрывы тканей, вывихи) [42].

Для снижения риска прикасания работника к движущимся частям оборудования используют: ограждения, сигнализация, сообщающая о запуске и остановке оборудования,

а также технологическое оборудование должно быть оснащено органом управления аварийным остановом, если в зоне работы оборудования находится человек.

5.4 Электрический ток

Электрификация горных предприятий имеет важное значение, как основная энергетическая база механизации и автоматизации горных работ. Угольные шахты являются крупными потребителями электрической энергии. На участке шахтной вентиляционной системы эксплуатируются вентиляторы главного и местного проветривания, имеющие в своём составе приборы производственной автоматики, электродвигатели, электрозадвижки. Здание должно быть защищено от прямых ударов молнии, заноса высоких потенциалов устройствами молниезащиты.

Поражение электрическим током может произойти при прикосновении к токоведущим и нетокведущим частям установки, в результате чего возникает нагрев ткани и развитие ожога, а в последствии нарушение работы внутренних органов человека. Для электробезопасности производится заземление всех установок, вентиляционных труб и трубопроводов в начале и конце воздухопроводов, если производятся работы при не снятом напряжении, то обязательно наличие наряда-допуска для работ по электробезопасности, а также обеспечивается надзор за работающим. Пол выполнен в виде диэлектрического настила, который покрыт по всей площади, также для работника проводятся инструктажи по электробезопасности [43].

Предельно допустимые напряжения прикосновения и токи для человека устанавливаются ГОСТ 12.1.038-82 при аварийном режиме работы электроустановок постоянного тока частотой 50 и 400 Гц. Для переменного тока частотой 50 Гц допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В, а силы тока — 0,3 мА, для тока частотой 400 Гц соответственно - 2 В и 0,4 мА; для постоянного тока — 8 В и 1 м (не более 10 мин в сутки) [44].

Короткое замыкание в электроустановке

Короткое замыкание в цепи происходит по причине замыкания двух проводов под напряжением, между которыми случайно оказалось очень малое сопротивление. Если в момент замыкания человек находится рядом с источником, то он может получить ожоги, повреждения тканей и органов.

Предельно допустимые напряжения прикосновения и токи для человека устанавливаются ГОСТ 12.1.038-82 [44]. Эффективными мерами по предотвращению

развития короткого замыкания являются: установка автоматического выключателя или плавких предохранителей, регулярный осмотр вентиляторной установки. Работникам предоставляются средства индивидуальной защиты: диэлектрические ботинки, каски, перчатки, изолирующие коврики.

5.5 Образование взрывоопасной среды

В угольных шахтах может существовать опасность взрыва пылевоздушной смеси. Угольная пыль, присутствующая в подземных выработках, может находиться во взвешенном состоянии или оседать внутри и на оборудовании вентиляционной установки. Смеси рудничных газов разбавляются за счет вентиляции и отводятся на поверхность через шахтные выработки.

Взрыв может произойти, если концентрация дисперсного горючего вещества в воздухе достигает или превышает нижний концентрационный предел воспламенения. В последствии при скоплении горючего вещества при наличии искры, электрического оборудования, блуждающего тока в оболочке, статического электричества происходит воспламенение со взрывом. Для борьбы с пылью производится уборка осевшей пыли, смазывание хлоркальциевой пастой для предупреждения перехода во взвешенное состояние, добавка инертных и флегматизирующих материалов, снижающих взрывчатость и постоянной надзор.

Таблица 25 – Нижний концентрационный предел воспламенения пыли в угольных шахтах [45]

Качественная характеристика пыли	НКПВ, г/м ³
Угледородная, породная	150
Угледородная, угольная	256
Антрацитовая	40
Пыль каменных углей	65

5.6 Повышенный уровень шума

Источником шума на участке вентиляционной системы является работа вентиляционных установок. При длительном воздействии шума в организме человека происходят нарушения в работе сердечно-сосудистой, нервной, кровеносной и пищеварительной систем, развивается болезнь, приводящая к потере слуха.

Уровни шума на рабочих местах не должны превышать значений, установленных СанПиН 1.2.3685-21 и составляют не более 50 дБА.

На рабочих местах в помещениях для размещения шумных агрегатов уровень шума не должен превышать 75 дБА [46].

Для защиты от шума предусматриваются: обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89: установка звукоизолирующих кабин; звукоизолирующие кожухи и экраны [47].

5.7 Повышенный уровень общей вибрации

Источником вибрации на участке аэрологической безопасности является работа вентиляционных установок. При работе двигателей происходит вращение рабочего колеса и лопаток ротора, вызывающие вибрацию установки. Систематическое воздействие общих вибраций приводит к вибрационной болезни, которая характеризуется нарушениями физиологических функций организма, связанными с поражением центральной нервной системы. Эти нарушения вызывают головные боли, головокружения, нарушения сна, снижение работоспособности, ухудшение самочувствия, нарушения сердечной деятельности.

Нормативным документом, рассматривающим уровни вибрации для различных категорий рабочих мест, служебных помещений является СанПиН 1.2.3685-21. Предельно допустимой величиной виброускорения для общей транспортно-технологической вибрации на рабочих местах в машинах, перемещающихся по подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок и горных выработок, является $0,28 \text{ м/с}^2$ или 109 дБ [46].

Меры для защиты персонала от воздействия общей вибрации предусмотренным по ГОСТ 12.4.011 – 89: обеспечение персонала средствами индивидуальной защиты, оградительные, виброизолирующие, виброгасящие или вибропоглощающие материалы под оборудование [47].

5.8 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Недостаток освещения рабочего места вызывает быструю усталость глаз, приводит к уменьшению производительности труда, снижается внимательность работника, что может приводить к случаям травмирования на рабочем месте. На промышленных площадках шахты освещению подлежат все рабочие места, приемные площадки, помещения с электромеханическими установками. В зданиях главной вентиляционной установки должно быть предусмотрено аварийное освещение от независимого источника. Также работникам выдаются аккумуляторные светильники индивидуального использования. В производственном помещении главной вентиляционной установки, где требуется контроль за установкой, при общем освещении минимальное значение

освещенности составляет – 200 лк, а коэффициент пульсации освещенности составляет не более 20% [48].

5.9 Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе

Наиболее типичными заболеваниями работников шахты, вызванные повышенной концентраций вредных веществ в воздухе, являются пневмокониозы, антракоз, эмфизема и фиброз лёгких.

Все производственные здания и сооружения на территории шахты должны соответствовать требованиям санитарных норм проектирования промышленных предприятий. Поверхность стен в помещении должна быть гладкой и не способствовать скоплению пыли, должна систематически производиться уборка оборудования и помещения. Все работники, занятые на работах, где возможно превышение уровня ПДК пыли должны быть обеспечены респираторами. Данные о предельно допустимых концентрациях пыли и газов представлены в Таблице 28[49]:

Таблица 26 – Предельно допустимые концентрации пыли и ядовитых газов угольных шахт

Вредные газы и пыли	ПДК в производственных помещениях шахты
	мг/м ³
Оксид углерода	20
Оксид азота	5
Сероводород	10
Сернистый ангидрид	10
Породная	2
Угольная	4
Антрацитовая	6
Пыль каменных углей	10

5.10 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Атмосфера. Сущность экологической проблемы угольной промышленности в том, что добыча угля требует непосредственного вмешательства в окружающую среду. Когда происходит добыча каменного угля, может произойти выброс метана в атмосферу. В воздух попадают зольные частицы, токсичные соединения, твердые и газообразные вещества. Основное загрязнение атмосферы связано с проведением буровзрывных работ, с пожарами от самовозгорания угля.

Таблица 27 – Основные загрязняющие вещества и их ПДК в атмосферном воздухе [50]

Название вещества	ПДК в воздухе, мг/м ³
Диоксид кремния	0,02
Зола	0,02

Продолжение таблицы 27

Сажа	0,15
Формальдегид	0,05
Кадмий	0,3
Ртуть	0,0003
Мышьяк	0,0003
Углеводороды	0,05

В качестве основных мероприятий по сокращению выбросов вредных газов в атмосферу используют следующие мероприятия: предотвращение окислительных процессов угля, уменьшение метанообильности угольных шахт и утилизация метана, увлажнения угольной массы, уменьшение продуктов буровзрывных работ.

Гидросфера. Почти любое проникновение человека в земные недра связано с необходимостью откачки подземных вод. Горные предприятия выносят на земную поверхность из недр множество загрязняющих веществ: серную кислоту, вредные и ядовитые металлы и минеральные, органические образования, сульфаты железа, медь, цинк, марганец, никель, уран. Шахтная вода сильно загрязнена и без предварительной очистки и нейтрализации не используется даже в технологических целях. В первую очередь на угольных предприятиях должны быть оборудованы различные очистки шахтной воды.

Таблица 28 – Основные загрязняющие вещества и их ПДК в гидросфере [51]

Название вещества	ПДК в воде, мг/л
Серная кислота	0,008
Сульфат железа	0,02
Медь	0,1
Цинк	1
Марганец	0,1
Никель	0,02
Уран	0,01

Литосфера. Многие экологические проблемы начинаются во время добычи полезного ископаемого. Во время работ под землей оседают слои грунта, возникает опасность обвалов, оползней. В процессе добычи каменного угля изменяются природные ландшафты, нарушается почвенный покров и происходит уничтожение растительности. Также при подземной добыче угля на поверхности образуются свалки пустой породы.

Во избежание обвалов отработанные выработки укрепляются или заполняются почвой, после отработки территорий, где была вырублена растительность производится посадка лесонасаждений, должны производиться севообороты, мелиоративные мероприятия и рекультивация земель [52].

5.11 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возникновению чрезвычайной ситуации на угольной шахте способствуют различные факторы, такие как: климатические условия в регионе, месторасположение региона и как следствие этого природные явления (землетрясения, сели, циклоны), геологическое строение земной коры в рассматриваемом регионе и различные технико-технологические факторы (нарушение правил ведения горных работ, требований безопасности, неудовлетворительная работа системы проветривания, некомпетентный персонал) [53].

Наиболее вероятная ЧС на рассматриваемом объекте – взрыв метанопылевоздушной смеси. Возможными причинами данной ЧС являются: неисправность системы вентиляции, намеренное вмешательство в систему газового контроля шахты с целью занижения концентрации метана, слоевые скопления метана в выработках, пренебрежение мероприятиями по пылевзрываемости. В случае возникновения данной чрезвычайной ситуации на угольной шахте вводится в действие План ликвидации аварии. Ответственным руководителем работ по ликвидации аварии является главный инженер шахты, до его прибытия – горный диспетчер. В случае возникновения ЧС на место аварии направляется отряд ВГСО с заданием на разведку обстановки в зоне поражения. На шахте вводится непрерывный контроль за газовой обстановкой в выработках, где нарушено проветривание. Вентиляционная система шахты переходит в аварийный режим работы. Работники, находящиеся непосредственно под землей во время взрыва, обязаны при себе иметь средство индивидуальной защиты – самоспасатель и уметь им пользоваться (при возникновении задымления или пожара незамедлительно включиться в самоспасатель), работники должны знать где располагаются средства противоаварийной защиты. При обнаружении дыма работник обязан незамедлительно сообщить об этом и двигаться к ходу вентиляционной струи со свежей струей воздуха. В случае резкого изменения направления вентиляционной струи движение начинается навстречу реверсивной свежей струе до ствола, шурфа или штольни [54].

Выводы по разделу

В ходе выполнения задания по разделу «Социальная ответственность» были рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, которые могут оказать влияние на организм человека на территории производственного помещения главной вентиляционной установки. Был сделан вывод, что причиной загрязнения окружающей

среды являются: выбросы метана и других ядовитых газов в атмосферу, загрязнение гидросферы шахтной водой, пагубное влияние на литосферу из-за подземной добычи угля.

Также наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией на угольной шахте являются взрывы метанопылевоздушной смеси, что приводит к огромному количеству жертв и материальному ущербу.

Работник участка аэрологической безопасности относится к электротехническому персоналу. В соответствии с Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правил безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» работник участка аэрологической безопасности обязан иметь удостоверение о проверке знаний правил работы в электроустановках и соответствующую запись в ней, а также обязаны иметь квалификационную группу по электробезопасности IV, а их помощники – не ниже III. [55]

Условия труда работника данного участка охарактеризованы комплексом производственных факторов: повышенный уровень шума, общей вибрации, повышенная концентрация вредных веществ в воздухе, световая среда, движущиеся элементы машин. Категория тяжести труда для работника участка аэрологической безопасности – Пб [46].

Помещение главной вентиляционной установки по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Б, так как на участке присутствуют горючие пыли и волокна в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные смеси. Также помещение главной вентиляционной установки относится к классу взрывоопасных зон – В-Ia, по классификации пожароопасных зон относится к классу П-II. Объект, оказывающий значительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к I категории [56].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной выпускной квалификационной работы для достижения поставленной цели решены следующие задачи: проведен анализ аварий на угледобывающих предприятия в период с 2004 по 2022 гг.; проведен анализ причин и последствий аварий на объектах угледобывающей промышленности; представлена характеристика и требования для шахтной вентиляционной системы, а также представлена характеристика АО «Северный Кузбасс» шахта «Березовская»; проведен анализ классификации рисков в угольной промышленности, рассмотрены особенности шахтной вентиляции, состав рудничного воздуха и методы оценки аэрологического риска; выполнен анализ сценариев развития аварий с участием шахтной вентиляционной системы и проведены расчеты для условно наиболее вероятному исходу событий при отказе ВГП.

На основании решенных задач разработаны и предложены мероприятия по повышению эффективности и надежности работы шахтной вентиляционной системы:

- 1) во избежание отказа вентилятора главного проветривания следует производить качественный технический контроль, ремонтные работы и монтаж;
- 2) применять на месте резервных вентиляторов новые вентиляторные установки;
- 3) заменить имеющиеся вентиляторы ВОД-40 на более надежные центробежные вентиляторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 57718-2017 Горное дело. Вентиляция рудничная. Термины и определения.
2. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8.12.2020 № 507 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах».
3. Ростехнадзор : официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://www.gosnadzor.ru> (дата обращения: 20.03.2022). – Текст: электронный.
4. Уголь, разрезы, шахты в Кемерово : сайт. – URL: https://www.e-kuzbass.ru/catalog/kuzbass/goods/Ugol_razrezyi_shahtyi/ (дата обращения: 15.03.2023). – Текст: электронный.
5. Федеральный закон от 20.06.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (ред. от 29.12.2022).
6. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27.11.2020 № 467 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по порядку разработки планов ликвидации аварий на угольных шахтах, ознакомления, проведения учебных тревог и учений по ликвидации аварий, проведения плановой практической проверки аварийных вентиляционных режимов, предусмотренных планом ликвидации аварий».
7. РД 05-392-00 Методические рекомендации по классификации аварий и инцидентов на опасных производственных объектах угольной промышленности.
8. Иванов, Г.В. Расчет выделения пыли на угледобывающем предприятии / Г.В. Иванов, Л.А. Шевченко, Н.С. Михайлова. – Кемерово : Кузбасс, 2015. – 24 с.
9. Экология: Горное дело и природная среда / А.С. Астахов, Ю.Н. Малышев, Л.А. Пучков, В.А. Харченко. – Москва : Академия горных наук, 2001. – 351 с.
10. Егоров, П.В. Основы горного дела: Учебник для ВУЗов / П.В. Егоров. – Москва : МГТУ, 2006. – 400 с.
11. Архипов, Н.А. Добыча угля и рациональное природопользование / Н.А. Архипов, Е.А. Ельчанинов, Д.Т. Горбачев. – Москва : Недра, 1987. – 283 с.
12. Мыльникова, Т.В. Эндогенные пожары на шахтах Кузбасса / Т.В. Мыльникова, Ю.А. Сергеева // Россия молодых . – Кемерово : Кузбасс, 2017. – С. 1-3.
13. Шахта : сайт. – URL: <http://miningwiki.ru> (дата обращения: 10.04.2023).
14. ГОСТ Р 58652-2019 Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности шахт. Принципы обеспечения промышленной безопасности.

15. Анализ аварийности и пожароопасности угольных шахт / В.А. Портола, В.Г. Игишев, С.А. Син, А.Е. Овчинников // Вестник. – 2017. – № 2. – С. 36-41.
16. Шахтерская энциклопедия : сайт. – URL: <https://miningwiki.ru> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст: электронный.
17. Пучков, Л.А. Перспективы промышленного извлечения угольного метана / Л.А. Пучков, С.В. Сластунов, Г.М. Презент // Неделя горняка . – Москва : МГТУ, 2002. – С. 12-15.
18. СП 115.13330.2011 Геофизика опасных природных воздействий.
19. МЧС России. Главное управление по Кемеровской области : сайт. – URL: <https://45.mchs.gov.ru/> (дата обращения: 18.04.2023). – Текст: электронный.
20. Федеральный закон от 27.12.2002 №184-ФЗ «О техническом регулировании».
21. ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
22. Ростова, Е.П. Анализ подходов к определению промышленного риска и их классификация / Е.П. Ростова // Вестник Самарского университета. – 2020. – Т. 1, № 1. – С. 52-58.
23. Безопасность и управление рисками в горном деле : Горный информационно-аналитический бюллетень пособие / С.В. Баловцев, О.В. Воробьева, Н.Н. Монастырев [и др.]. – Москва : Горная книга, 2016. – 36 с.
24. Лисовский, В.В. Управление производственными рисками посредством контроля и устранения опасных производственных ситуаций на угледобывающем предприятии / В.В. Лисовский // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – Т. 1, № 2. – С. 67-72.
25. Союз горных инженеров. Экологические аспекты угледобывающей отрасли : сайт. – URL: <http://www.mining-portal.ru/> (дата обращения: 16.05.2023). – Текст: электронный.
26. Медведева, С.А. Экологический риск. Общие понятия, методы оценки / С.А. Медведева // Экологическая безопасность и защита окружающей среды. – 2016. – № 1. – С. 1-15.
27. Пузырев, В.Н. Вентиляция шахт : учебное пособие / В.Н. Пузырев, Л.А. Шевченко. – Кемерово : КузГТУ, 2012. – 165 с.
28. Джиева, А.К. Аэрология горных предприятий : учебно-методическое пособие / А.К. Джиева, Б.М. Битаров. – Владикавказ : Горное дело, 2020. – 72 с.
29. Ушаков, К.З. Рудничная вентиляция: Справочник / К.З. Ушаков. – Москва : Недра, 1988. – 198 с.
30. ГОСТ 2939-63 Газы. Условия для определения объема.

31. ГОСТ Р 57717-2017 Горное дело. Безопасность в угольных шахтах. Термины и определения.
32. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8.12.2020 № 505 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых».
33. Ивановский, И.Г. Шахтные вентиляторы : учебное пособие / И.Г. Ивановский. – Владивосток : ДВГТУ, 2003. – 196 с.
34. Каледина, Н.О. Аэрологическая безопасность угольных шахт / Н.О. Каледина, Д.А. Мещеряков // Наука. – 2011. – № 1. – С. 1-11.
35. Ушаков, В.К. Методы оценки аэрологического риска на угольных шахтах / В.К. Ушаков, С.В. Баловцев // Наука. – 2006. – № 2. – С. 173-179.
36. Технический проект консервации шахты "Березовская" АО "Угольная компания "Северный Кузбасс". – Кемерово : Сибгеопроект, 2021. – 219 с.
37. Файнерман, И.Д. О критериях надежности / И.Д. Файнерман // Приборостроение. – 1963. – № 8. – С. 13-15.
38. Павленко, М.В. Оценка риска воспламенения метановоздушной смеси в зонах подверженных комплексному воздействию на угольный массив / М.В. Павленко, Ю.Ф. Васючков // Наука. – 2011. – № 1. – С. 15-22.
39. Новоселов, С.В. Определение вероятности взрывов метана в очистных забоях сверхкатегорных угольных шахт в условиях радикального увеличения нагрузок / С.В. Новоселов, А.С. Голик, В.Б. Попов // Безопасность. – 2019. – № 2. – С. 15-18.
40. ТК РФ Глава 51.1 Особенности регулирования труда работников, занятых на подземных работах.
41. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
42. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
43. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28.10.2020 № 429 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по электроснабжению угольных шахт».
44. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

45. ГОСТ 31610.0-2014. (IEC 60079-0:2011) Взрывоопасные среды. Оборудование. Общие требования.
46. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
47. ГОСТ 12.4.011 – 89. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
48. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
49. СанПиН 2.2.3.570-96 Гигиенические требования к предприятиям угольной промышленности и организации работ.
50. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 №2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
51. РД 52.24.309-2016 «Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши».
52. Станис Е.В. Изменение некоторых компонент геологической среды под воздействием подземной добычи угля // Науки о Земле и смежные экологические науки. - 2015. - №10. - С. 47.
53. Борисова Е.В. Факторы, влияющие на возникновение чрезвычайных ситуаций в угольной отрасли // Угольная отрасль. - 2002. - №1. - С. 5-6.
54. Кабанов Е.И., Коршунов Г.И., Корнев А.В., Мяков В.В. Анализ причин взрывов, вспышек и воспламенений метана в угольных шахтах России в 2005-2019. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2-1. – С. 18-29.
55. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8.12.2020 № 505 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых».
56. Постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2020 № 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий».

