

Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и
ликвидации последствий стихийных бедствий
Донецкой Народной Республики

Государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» Министерства по делам
гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий
стихийных бедствий Донецкой Народной Республики»

На правах рукописи



Мавроди Александр Викторович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ
УЧАСТКОВ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ СИСТЕМ ДЕГАЗАЦИИ**

Специальность 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность
(по отраслям) (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк – 2023

Работа выполнена в Государственном бюджетном учреждении «Научно-исследовательский институт «Респиратор» Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики» (ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР»), г. Донецк.

Научный руководитель: **Агеев Владимир Григорьевич**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, директор ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР», г. Донецк

Официальные оппоненты: **Палеев Дмитрий Юрьевич**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского отдела ФГКУ ДПО «Национальный аэромобильный спасательный учебно-тренировочный центр подготовки горноспасателей и шахтеров», «Национальный Горноспасательный Центр» МЧС России, г. Новокузнецк

Балов Сергей Владимирович, кандидат технических наук, заместитель директора Государственного бюджетного учреждения «Донецкий научно-исследовательский угольный институт», г. Донецк

Ведущая организация: Государственное образовательное учреждение высшего образования Луганской Народной Республики «Донбасский государственный технический институт», г. Алчевск

Защита диссертации состоится «21» февраля 2023 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 01.027.01 при ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР» по адресу: 283048, г. Донецк, ул. Артема, 157, корп. 1, каб. 401.

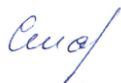
Тел.: +7(856)332-78-01; +7(856)332-78-18; факс: +7(856)332-78-78.

E-mail: respirator@mail.dnmchs.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР» по адресу: 283048, г. Донецк, ул. Артема, 157, корп. 2, каб. 208, адрес сайта ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР»: <http://respirator.dnmchs.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 01.027.01
кандидат технических наук



И.Г. Старикова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Угольная промышленность остается одной из основных отраслей экономики и топливно-энергетического комплекса многих стран. Вместе с тем добыча полезного ископаемого зачастую сопровождается возникновением аварий техногенного характера с большими убытками для предприятия. Наиболее опасными авариями на угольных шахтах остаются взрывы газа и пыли, а также подземные пожары.

До начала 70-х годов XX столетия основным способом борьбы с повышенным метановыделением оставалось проветривание горных выработок большими объемами воздуха. Однако с развитием подземных способов добычи угля и разработкой более метаноносных угольных пластов использование одной лишь вентиляции стало недостаточным. Поэтому, на угольных шахтах Донбасса и за рубежом широкое применение получили системы дегазации с различными схемами и способами извлечения метана, что существенно позволило повысить добычу полезного ископаемого и безопасность ведения горных работ.

В процессе эксплуатации угольными шахтами систем дегазации возникают нештатные аварийные ситуации, связанные со снижением их эффективности или отключением. При этом происходит резкое увеличение газовыделения из выработанного пространства в исходящую вентиляционную струю выемочного участка, что зачастую приводит к воспламенению и взрыву газозвушной смеси.

Основными источниками поступления метана в выработанное пространство лав являются сближенные угольные пласты (спутники) и вмещающие породы, доля которых в газовом балансе выемочного участка составляет 60 – 90 %. Переходный газодинамический процесс при отключении систем дегазации может длиться в течении нескольких часов и в дальнейшем стабилизируется на уровне фактического метановыделения выемочного участка без дегазации. Изучению таких процессов посвящено ряд научных работ и исследований ведущих институтов (НИИГД «Респиратор», МакНИИ, ДонУГИ и др.).

Опыт ликвидации аварийных ситуаций на системах дегазации показывает, что основным способом нормализации газовой обстановки в выработках выемочного участка остается сохранение нормального режима проветривания с возможностью подачи дополнительного расхода воздуха. Существенным недостатком данного режима проветривания является неконтролируемый процесс выноса метановоздушной смеси из выработанного пространства с высоким содержанием метана, что осложняет газовую обстановку и возможность ведения горноспасательных работ.

Следовательно, обоснование параметров проветривания выемочных участков при отключении систем дегазации и разработка научно-обоснованных методов прогноза газовой обстановки является актуальной научной-технической задачей.

Диссертация выполнена в соответствии с планом Государственного научно-исследовательского института горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» на 2016 – 2018 гг. по работе № 11611043 «Исследовать состояние проветривания шахт, дегазационных систем, выемочных участков и расчеты вентиляционных режимов»; «Исследовать методы расчета метановыделения и резервов воздуха на выемочных участках при отключении систем дегазации и газоотсоса»; «Обосновать параметры и разработать Рекомендации по выбору режимов проветривания выемочных участков при отключении систем дегазации и газоотсоса». В указанной работе автор принимал участие в качестве исполнителя работы.

Степень разработанности темы. Теоретические и практические исследования переходных газодинамических процессов в выемочных участках шахт отражены в работах таких ученых как: Агеева В.Г., Алейниковой Г.М., Бродского В.Ш., Грекова С.П., Зинченко И.Н., Касимова О.И., Морева А.М., Палеева Д.Ю., Пашковского П.С. и др.

Разработке и совершенствованию эффективных способов и схем проветривания выемочных участков при разработке газоносных угольных пластов посвящены работы Болбата И.Е., Гущина А.М., Лебедева В.И., Калединой Н.О., Романченко С.Б. и их последователей.

Следует отметить, что несмотря на проведенные многочисленные исследования, применяемые вентиляционные режимы не всегда способны обеспечить безопасное содержание метана в горных выработках выемочных участков, а существующие методы прогноза газовой обстановки не позволяют достоверно оценить интенсивность роста метановыделения во времени.

Поэтому исследование закономерностей формирования газовой обстановки в горных выработках выемочных участков и обоснование безопасных параметров их проветривания при отключении систем дегазации является актуальной научной задачей.

Цель и задачи исследований. Цель работы – обоснование параметров проветривания выемочных участков на основе установления закономерностей формирования газовой обстановки при отключении систем дегазации для обеспечения пожарной и промышленной безопасности угольных шахт.

Для достижения поставленной цели, в работе необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ существующих методов оценки газовой обстановки в выемочных участках шахт при отключении систем дегазации;
- выполнить теоретические и численные экспериментальные исследования газодинамики выемочных участков шахт при изменении параметров работы вентиляции и дегазации;
- исследовать влияние параметров работы системы газоотсоса на воздухораспределение по выработкам выемочного участка;

- разработать и апробировать метод прогноза абсолютного метановыделения на выемочном участке по горно-геологическим данным при отключении дегазации;

- разработать алгоритм расчета газовой обстановки в выемочном участке при общем обесточивании горного предприятия;

- выполнить оценку формирования резервов воздуха в вентиляционных сетях шахт и обосновать параметры подачи дополнительного расхода воздуха на выемочные участки для нормализации газовой обстановки.

Объект исследования – газодинамические процессы формирования метановоздушных потоков в выемочных участках шахт при отключении систем дегазации.

Предмет исследования – безопасные параметры проветривания выемочных участков для нормализации газовой обстановки за счет формирования резервов воздуха в вентиляционных сетях шахт.

Научная новизна полученных результатов:

1. Установлена аналитическая зависимость расхода метана и воздуха в дегазационных скважинах при стационарных и нестационарных режимах фильтрации от создаваемого разрежения в дегазационной сети, которая отличается от известных возможностью прогнозирования динамики метановыделения из сближенных угольных пластов в выработанное пространство при отключении дегазации, что позволило повысить достоверность определения необходимого расхода воздуха для обеспечения пожарной и промышленной безопасности.

2. Установлена зависимость концентрации метана на выемочном участке от времени отключения дегазации при общем обесточивании горного предприятия, которая отличается от известных учетом совокупного влияния фильтрационно-диффузионных процессов в угольно-породном массиве, что позволило определить время образования взрывоопасной концентрации метана в вентиляционной струе и необходимый расход воздуха для нормализации газовой обстановки выемочного участка.

3. Обоснован принцип выбора безопасных параметров подачи дополнительного расхода воздуха из резервных источников вентиляционной сети шахты при отключении систем дегазации с учетом скорости вентиляционной струи, коэффициента увеличения расхода воздуха, площади поперечного сечения горных выработок и сложившейся газовой обстановки для эффективного проветривания аварийного участка и ведения горноспасательных работ.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость заключается в следующем:

- установлена зависимость расхода метановоздушной смеси в дегазационных скважинах при различных режимах фильтрации метана через угольно-породные толщи;

– установлена зависимость распределения относительного метановыделения в выемочном участке от физических свойств пород кровли выработанного пространства;

– разработана математическая модель и алгоритм оценки газовой обстановки в выемочном участке при общем обесточивании горного предприятия.

Практическое значение полученных результатов заключается в следующем:

– разработана схема расчета параметров работы системы газоотсоса на воздухораспределение в выработках выемочного участка;

– разработан и нашел практическое применение достоверный метод прогноза газовой обстановки в выемочном участке при отключении дегазации для определения необходимого расхода воздуха с целью предотвращения скопления опасных концентраций метана в исходящей из лавы вентиляционной струе;

– разработаны «Рекомендации по выбору режимов проветривания выемочных участков при отключении систем дегазации и газоотсоса» (Рекомендации).

Рекомендации внедрены в горноспасательные подразделения МЧС ДНР и используются при ликвидации аварий и аварийных ситуаций на горных предприятиях, эксплуатирующих системы дегазации.

Результаты диссертационных исследований используются ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР» при выполнении научно-исследовательских работ в области пожарной и промышленной безопасности угольных шахт.

Методология и методы исследования.

При выполнении диссертационной работы использован комплексный подход, содержащий: анализ и обобщение результатов ранее выполненных исследований другими авторами; математическое и физическое моделирование; теоретические методы, основанные на фундаментальных газовых законах термодинамики, неразрывности стационарных потоков с учетом процессов диффузии и фильтрации метана через угольно-породные толщи; методы математической статистики для обработки результатов численных экспериментальных исследований.

Положения, выносимые на защиту:

1. Научное обоснование степени влияния расхода метана и воздуха в дегазационных скважинах с учетом режимов фильтрации, в зависимости от создаваемого разрежения в дегазационной сети, на параметры безопасной газовой обстановки выемочных участков при отключении дегазации.

2. Математическая модель процесса формирования объемной доли метана в лаве и выработанном пространстве выемочного участка при отключении дегазации и изменении расхода воздуха с учетом фильтрации газов в породах кровли выработанного пространства, коэффициентов пьезопроводности и диффузии метана.

3. Зависимость скорости вентиляционной струи от коэффициента, характеризующего увеличение расхода воздуха, площади поперечного сечения горных выработок и сложившейся газовой обстановки на выемочном участке, что позволило обосновать подачу дополнительного расхода воздуха из резервных источников вентиляционной сети шахты.

Степень достоверности и апробация результатов диссертационной работы.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена соответствием принятыми физическими предпосылками, базирующимися на фундаментальных законах термодинамики; удовлетворительной сходимостью результатов математического моделирования и фактических данных, полученных в ходе ведения горноспасательных работ, а также согласованностью результатов прогноза динамики метановыделения с результатами шахтных измерений других исследователей не превышали 14 %; практическим применением результатов внедрения Рекомендаций в горноспасательные подразделения.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку: на XV Международной конференции молодых ученых, аспирантов, студентов «Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий» ДонНАСА (г. Макеевка 21-22 апреля 2016 г.); XII Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность», посвященная Году пожарной охраны (г. Иваново, Российская Федерация, 2017 г.); Материалы Первой Республиканской научной конференции, посвященной Дню гражданской обороны в Донецкой Народной Республике, 85-летию образования гражданской обороны и образованию Академии гражданской защиты МЧС ДНР (24-25 октября 2017 г.); XII Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах» (г. Кемерово 22-23 ноября 2017 г.).

Результаты работы доложены и обсуждены на заседании Ученого совета ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР» (протокол № 2 от 27.10.2022).

Личный вклад соискателя. Автором самостоятельно поставлена цель работы, определены задачи исследований, сформулированы основные положения, выводы, получены аналитические зависимости относительного метановыделения в выработанном пространстве выемочного участка при изменении параметров проветривания и дегазации. Разработано программное обеспечение и метод прогноза абсолютного метановыделения на выемочном участке по горно-геологическим данным при отключении дегазации. Обоснованы безопасные параметры увеличения расхода воздуха из резервных источников вентиляционной сети шахты.

Публикации. Научные и практические результаты диссертации изложены в 16 научных трудах, в том числе: 12 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях ВАК Минобрнауки ДНР; 4 статьи – в

сборниках материалов научных конференций, входящих в наукометрическую базу РИНЦ; одна работа опубликована в виде рекомендаций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, выводов, заключения и списка литературы из 135 источников. Полный объем диссертации составляет 171 страницу, в том числе 150 страниц основного машинописного текста, 28 таблиц, 41 рисунок и два приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации; сформулированы цель и задачи исследования; определены объект, предмет, методология и методы исследования; охарактеризована научная новизна; приведены положения, выносимые на защиту; теоретическое и практическое значение полученных результатов, а также основные публикации и структура работы.

В первом разделе приведены результаты анализа аварийности на угольных шахтах. Одной из основных причин возникновения пожаров и взрывов в горных выработках выемочных участков связано с образованием местных и слоевых скоплений метана. Более 25 % случаев загазований горных выработок происходит в результате подачи недостаточного расхода воздуха на выемочные участки. До 40 % горения метана в очистных забоях сопровождалось нарушением технологии проветривания. Наиболее опасными местами образования местных скоплений метана в выемочных участках являются погашаемые тупики вентиляционных выработок. В этом случае применяют изолированный отвод метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок.

Применение систем дегазации на выемочных участках является вспомогательным процессом, обеспечивающим дополнительный отток метана по газопроводам из угольно-породного массива, тем самым обеспечивая безопасность ведения горных работ. Однако аварийное отключение системы дегазации существенно снижает потенциальную пожаро- и взрывобезопасность горного предприятия.

В настоящее время на угольных шахтах Донбасса применяют в основном столбовые системы разработки с прогрессивными схемами проветривания выемочных участков и полным обособленным разбавлением вредностей.

Установлено, что шахты Донецкой Народной Республики обеспечены расчетным расходом воздуха (от 105 до 143 %), а вентиляторы главного проветривания (ВГП) имеют возможность подачи дополнительного расхода воздуха (от 373 до 8668 м³/мин) на выемочные участки для снижения содержания метана до предельно допустимых концентраций.

Однако, как показывает практика ведения горноспасательных работ, отсутствие достоверного прогноза газовой обстановки и резкое увеличение

расхода воздуха на выемочном участке может привести к интенсивному выносу метановоздушной смеси из выработанного пространства лавы в исходящую вентиляционную струю участка, тем самым создавая угрозу для жизни и здоровья людей, находящихся в шахте.

Анализ требований нормативно-технической документации, обеспечивающей безопасное ведение горноспасательных работ при отключении систем дегазации показал ее несовершенство, а отсутствие достоверных методов прогноза газовой обстановки в выемочных участках не позволяет спрогнозировать динамику метановыделения с достаточной для практики точностью, так как не учитываются основные параметры от которых зависит интенсивность газовыделения (расстояние от забоя лавы до зоны разгрузки сближенных угольных пластов, их количество, мощность и другие параметры).

На основании результатов выполненного анализа состояния вопроса сформулированы цель работы и задачи исследований.

Второй раздел посвящен теоретическим исследованиям процессов движения метана через разгруженный породный массив под действием градиентов давления, динамике каптажа метановоздушной смеси из угольно-породного массива в дегазационные скважины и переходным газодинамическим процессам в горных выработках выемочных участков при изменении параметров вентиляции и дегазации. Для рассмотрения процессов движения метана через разгруженный породный массив под действием градиентов давления использовано уравнение неразрывности стационарного потока газа в трех измерениях:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = j, \quad (1)$$

где ρ – плотность метана в фильтрационном потоке, кг/м³;

u – проекция скорости фильтрации газа на ось x , направленная вдоль простирания разрабатываемого угольного пласта, м/с;

v – проекция скорости фильтрации на ось y , направленная по восстанию угольного пласта, м/с;

w – проекция скорости фильтрации на ось z , направленная по нормали к разрабатываемому угольному пласту, м/с;

j – интенсивность внутренних источников метановыделения из сближенных угольных пластов в единице объема, кг/(с·м³).

Для решения уравнения (1) использован численный метод конечных разностей. Интенсивность метановыделения из сближенных угольных пластов в зону беспорядочно обрушенной массы горных пород можно представить в виде функции газовыделения во времени $t = x/V_{\text{д}}$:

$$j(x) = \frac{\rho \frac{\varphi}{D}}{\left(\frac{\varphi}{D} - 1\right) H l_n} \cdot \sum_{i=1}^n q_{CHi} \left[\exp(-x) - \exp\left(-\frac{\varphi}{D} x\right) \right], \quad (2)$$

где V_n – скорость подвигания забоя лавы, м/сут;

φ – коэффициент десорбции метана, м³/ч;

D – коэффициент диффузии метана, м²/с;

H – мощность зоны плавного оседания пород с разрывом сплошности, м;

l_n – длина лавы, м;

n – количество сближенных угольных пластов;

q_{CHi} – дебет метана из i -го сближенного угольного пласта, м³/с.

Рассмотрен процесс движения метана от источника газовыделения в дегазационную скважину со следующими начальными и граничными условиями:

$$\frac{dP(0)}{dx} = 0; \quad P(x_1) = P_1; \quad P(\infty) = P_0, \quad (3)$$

где P_1 – начальное давление газа в дегазационной скважине, Па.

P_0 – начальное разрежение в дегазационной скважине, Па;

x_1 – расстояние от забоя лавы до дегазационных скважин, м.

Дополнительно учтены условия режима работы дегазационной скважины, расположенной на расстоянии (x) от забоя лавы с создаваемым в ней разрежением (P). Решение уравнения (2) с начальными и граничными условиями (3) для одной дегазационной скважины и одним сближенным угольным пластом принимает вид:

$$P(x) = P_0 + C_1 \exp\left(\sqrt{\frac{k_z}{k_x}} x / H\right) + C_2 \exp\left(\frac{-x}{x_{m1}}\right) + \exp\left(\frac{-\gamma x}{x_{m1}}\right), \quad (4)$$

где k_x , k_z – коэффициенты проницаемости зоны плавного оседания горных пород с разрывом сплошности в направлениях x и z к разрабатываемому угольному пласту, м²;

γ – отношение коэффициента десорбции на коэффициент диффузии метана, 1;

C_1 и C_2 – постоянные интегрирования;

x_{m1} – расстояние от разрабатываемого до сближенного угольного пласта, м.

На основе разработанной математической модели и полученных аналитических зависимостей выполнено моделирование влияния режимов работы дегазационных скважин на распределение давления и газовыделения из угольно-породного массива в обрушенную зону выработанного пространства. Моделирование выполнялось на одном сближенном угольном

пласте со следующими исходными данными: $x_{m1}=50$ м; $H=10$ м; $x_1 = 30$ м; $k_z = k_x = 1,2 \cdot 10^{-12}$ м²; $P_0 = 15$ кПа, зона влияния дегазационных скважин составляет 80 м.

В результате численного моделирования распределения давления метана в угольно-породном массиве установлено, что избыточное давление ($\Delta P = P - P_0$) поднялось до атмосферного (рисунок 1). Это связано с тем, что в радиусе работы дегазационных скважин образуются зоны с обратным током метановоздушной смеси из выработанного пространства.

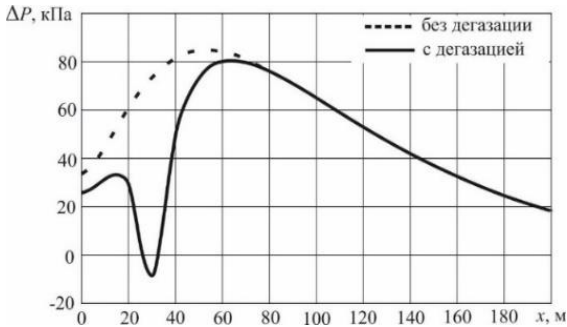


Рисунок 1 – Результаты моделирования распределения давления газа в горном массиве с низкой проницаемостью горных пород

Таким образом, изменение параметров работы одной дегазационной скважины на расстоянии от забоя лавы $x_1 = 30$ м и с вакуумом 15 кПа позволило снизить давление газа по длине лавы до 60 м. Наиболее существенное снижение давления газа наблюдается вблизи дегазационной скважины в радиусе 10 м.

Математическая модель учитывает неограниченное количество дегазационных скважин и позволяет выполнить оценку распределения давления газовой выделения в обрушенную зону выработанного пространства при изменении параметров работы дегазации сближенных угольных пластов.

Для рассмотрения вопросов динамики движения метановоздушной смеси к дегазационным скважинам от создаваемого в дегазационной сети разрежения использован двучленный закон фильтрации:

$$\nabla P = -\frac{\eta}{k_b} \vec{v} - \frac{\beta \rho v}{\sqrt{k_b}} \vec{v}, \quad (5)$$

где ∇P – градиент давления, кПа/м;

η – динамическая вязкость метана или воздуха, кг/(м·с);

k_b – коэффициент проницаемости пород выработанного пространства, м²;

$\vec{v}$ – вектор скорости фильтрации газа, м/с;

β – эмпирическая константа турбулентности фильтрационного потока в пористой среде, 1;

ρ – плотность метана в фильтрационном потоке, кг/м³.

Принято, что при работе группы дегазационных скважин в их окрестности одинаковые аэродинамические сопротивления и разрежение. Тогда общее поступление метана (q_m) в группу дегазационных скважин (n) на выемочном участке будет иметь вид:

$$q_m = \frac{2n(h + h_0)}{R_{л.с} + \sqrt{R_{л.с}^2 + 4R_{т.с}(h + h_0) / (1 - h / 2P_0)}}, \quad (6)$$

где h – величина разрежения, создаваемая вакуум-насосной станцией, кПа;

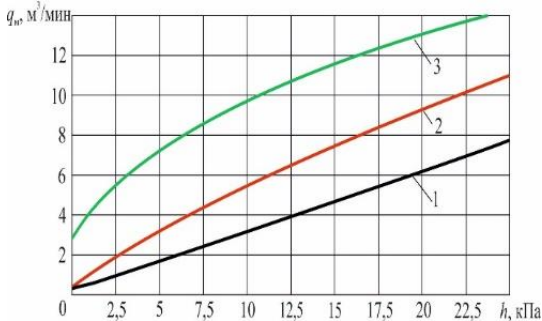
h_0 – напор, создаваемый метаном в дегазационной скважине, кПа;

$R_{л.с}$ – ламинарная составляющая аэродинамического сопротивления дегазационной скважины, кПа·с/м³;

$R_{т.с}$ – турбулентная составляющая аэродинамического сопротивления дегазационной скважины, кПа·с²/м⁶.

Формула (6) учитывает одновременно турбулентный, ламинарный, а также промежуточный режимы фильтрации.

На рисунке 2 представлены результаты моделирования по формуле (6) расхода смеси газов через одну дегазационную скважину при различных режимах фильтрации.



- 1 – ламинарный режим;
- 2 – промежуточный режим;
- 3 – турбулентный режим

Рисунок 2 – Зависимость расхода метана через дегазационную скважину от создаваемого в дегазационной сети разрежения при различных режимах фильтрации

Кроме метана в дегазационные скважины поступает воздух из-за негерметичности их устьев. В этом случае уравнение для определения подсосов воздуха через группу дегазационных скважин идентично уравнению (6), с учетом того, что $h_0 = 0$.

На рисунке 3 представлены результаты математического моделирования по формуле (6) расходов метана и воздуха через одну дегазационную скважину. Использованы следующие исходные данные: $n = 1$; $h_0 = 1,0$ кПа; $P_0 = 100$ кПа; $R_{т.с} = 200$ кПа·с²/м⁶; $R_{л.с} = 100$ кПа·с/м³; $R_{т.в} = 150$ кПа·с²/м⁶. Ламинарное ($R_{л.в}$) и турбулентное ($R_{т.в}$) аэродинамическое сопротивление дегазационной скважины подсосам воздуха приняты равным 100 кПа·с/м³ и 150 кПа·с²/м⁶ соответственно.

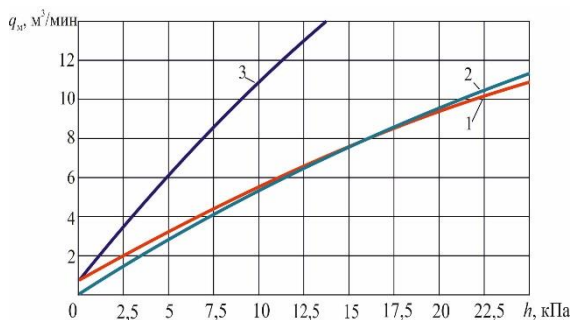


Рисунок 3 – Зависимость расходов через скважину метана (1), воздуха (2) и метановоздушной смеси (3) от создаваемого разрежения при промежуточном режиме фильтрации

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что расход воздуха при малом разрежении вначале меньше расхода метана, а затем увеличивается несмотря на то, что ламинарные аэродинамические сопротивления приняты одинаковыми, а турбулентные аэродинамические сопротивления сопротивление для воздуха несколько больше.

Таким образом, путем математического моделирования фильтрации метана в окрестности дегазационной скважины получена аналитическая зависимость изменения расхода метана от создаваемого в дегазационных скважинах разрежения, что позволяет определить динамику газовыделения из сближенных угольных пластов в выработанное пространство выемочного участка.

Для описания переходных газодинамических процессов в выемочном участке лава и активно проветриваемая зона выработанного пространства представлены как две параллельные выработки, в которых происходит конвективно-диффузионный перенос метановоздушной смеси с равномерно распределенными источниками газовыделения из разрабатываемого пласта в лаву и из сближенных угольных пластов в выработанное пространство.

Исследования поступления метана из сближенных угольных пластов в выработанное пространство проведены на основе уравнения конвективной диффузии в свободном потоке:

$$\frac{\partial C_v}{\partial t} + \frac{Q_v}{S_v} \frac{\partial C_v}{\partial z} = D_v \frac{\partial^2 C_v}{\partial z^2} + \frac{q_{сп}(l_{сп}, t)}{S_v l_{л}}, \quad (7)$$

где C_v – объемная доля метана в выработанном пространстве, %;

$q_{сп}$ – дебит метана из сближенных угольных пластов, м³/с;

Q_v – расход воздуха в утечках через активно проветриваемую зону выработанного пространства, м³/с;

D_v – коэффициент диффузии метана в выработанном пространстве, м²/с;

S_v – площадь поперечного сечения активно-проветриваемой зоны, м²;

$l_{сп}$ – расстояние по нормали от разрабатываемого до сближенного угольного пласта, м;

t – продолжительность переходного газодинамического процесса, с;

z – координата, отсчитываемая от откаточного штрека по направлению движения вентиляционной струи в лаве.

Считая, что в выработанное пространство поступает постоянная величина объемной доли метана, тогда:

$$C_B(0, t) = C_{B0}. \quad (8)$$

На противоположном конце лавы ($z \rightarrow \infty$) принимаем:

$$\left. \frac{\partial C_B}{\partial z} \right|_{z \rightarrow \infty} = M, \quad (9)$$

где M – константа.

Тогда из решения уравнения (7) с граничными условиями (8) и (9) при $M = 0$, $q_{cn}(l_{cn}, 0) = q_{cn0}$ и $Q_B = Q_{B0}$, что соответствует нормальному режиму дегазации и проветривания, получено начальное распределение концентрации метана в активно проветриваемой зоне выработанного пространства:

$$C_B(z, 0) = C_{B0} + \frac{q_{cn0}}{Q_{B0}} \frac{z}{l_{cn}}. \quad (10)$$

При отключении дегазации и изменении режима проветривания, когда расход воздуха в утечках воздуха равен $Q_B = Q_{B1}$, решение уравнения (7) с граничными и начальными условиями (8) – (10) найдено с помощью подстановки:

$$C_B(z, t) = C_B(z, t) \exp \left(\frac{Q_{B1} z}{2 S_B D_B} - \frac{Q_{B1} t}{4 S_B^2 D_B} \right). \quad (11)$$

Полученное таким образом решение, после ряда преобразований примет вид:

$$\begin{aligned} C_B(z, t) = & C_{B0} + \frac{q_{cn1}}{Q_{B1}} \cdot \frac{z}{l_n} - \left(\frac{q_{cn1}}{Q_{B1}} - \frac{q_{cn0}}{Q_{B0}} \right) \frac{z}{l_n} \times \\ & \times \frac{1}{2} \left[1 - \frac{Q_{B1} t}{S_B z} \operatorname{erfc} \left(\frac{\frac{Q_{B1} t}{S_B z} - 1}{2 \sqrt{\frac{D_B t}{z^2}}} \right) + \exp \left(\frac{Q_{B1} t}{S_B D_B} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{\frac{Q_{B1} t}{S_B z} + 1}{2 \sqrt{\frac{D_B t}{z^2}}} \right) \right] - \frac{q_{cn1} - q_{cn0}}{S_B l_n} \times \\ & \times \frac{1}{2} \int_0^t \operatorname{erf} \left(\frac{l_{cn}}{2 \sqrt{f \cdot x}} \right) \cdot \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{\frac{Q_{B1}(t-x)}{S_B z} - 1}{2 \sqrt{\frac{D_B(t-x)}{z^2}}} \right) - \exp \left(\frac{Q_{B1} x}{S_B D_B} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{\frac{Q_{B1}(t-x)}{S_B z} + 1}{2 \sqrt{\frac{D_B(t-x)}{z^2}}} \right) \right] dx. \end{aligned} \quad (12)$$

Формула (12) при $z = l_n$ представлена в безразмерном виде:

$$\zeta_n = 1 - \frac{1}{2} \left[\exp(\delta_n)(\tau_n + 1) \operatorname{erfc} \left(\frac{\tau_n + 1}{2\sqrt{\tau_n/\delta_n}} \right) - (\tau_n - 1) \operatorname{erfc} \left(\frac{\tau_n - 1}{2\sqrt{\tau_n/\delta_n}} \right) \right] - \frac{K_q - 1}{K_q - K_{Qn}} \times \quad (13)$$

$$\times \frac{\tau_n}{2} \int_0^1 \operatorname{erf} \left(\frac{\lambda}{2\sqrt{\tau_n x/\delta_n}} \right) \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{\tau_n(1-x)-1}{2\sqrt{\tau_n(1-x)/\delta_n}} \right) - \exp(\delta_n) \operatorname{erfc} \left(\frac{\tau_n(1-x)+1}{2\sqrt{\tau_n(1-x)/\delta_n}} \right) \right] dx.$$

где ζ_n – параметр, характеризующий переходный газодинамический процесс в выработанном пространстве;

$\tau_n = Q_{n1}t / S_n l_n$ – критерий гомохронности;

$\delta_n = Q_{n1}l_n / S_n D$ – параметр, представляющий произведение числа Пекле на геометрический критерий;

$K_q = q_{cn1} / q_{cn0}$ – глубина регулирования дебита метана из сближенных угольных пластов при дегазации;

$K_{Qn} = Q_{n1} / Q_n$ – глубина регулирования расхода воздуха в активно проветриваемой зоне;

$\lambda = l_{cn} / l_n \sqrt{D_n / f}$ – параметр, характеризующий физические свойства метана и пород кровли выработанного пространства;

f – коэффициент пьезопроводности пород кровли выработанного пространства, $\text{м}^2/\text{с}$.

В результате математического моделирования по формуле (13) построены зависимости роста относительной концентрации метана на выходе из выработанного пространства при изменении режима проветривания (рисунок 4) и работы системы дегазации (рисунок 5) от критерия гомохронности τ и параметра λ .

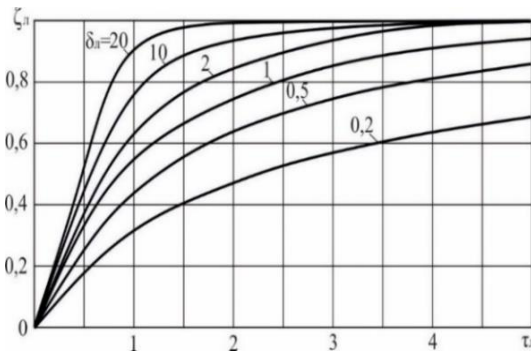


Рисунок 4 – Зависимость относительной концентрации метана в лаве при изменении режима проветривания от критерия гомохронности τ_n и параметра δ

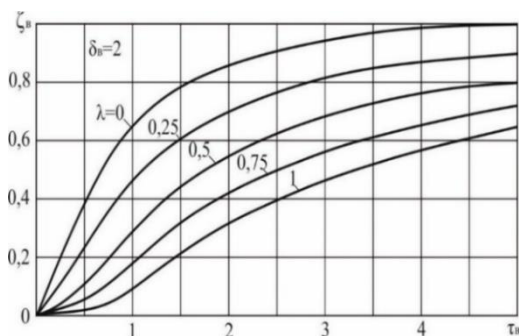


Рисунок 5 – Зависимость относительной концентрации метана в утечках воздуха из выработанного пространства при отключении дегазации от критерия гомотоксичности τ_v и параметра λ

Таким образом, предлагаемая математическая модель позволяет численным методом выполнить оценку динамики метановыделения в выемочных участках шахт при изменении режимов работы вентиляции и дегазации и определить необходимый расход воздуха для нормализации газовой обстановки.

В третьем разделе изложены результаты исследований газодинамики в выемочных участках на основе экспериментальных данных. Исследования проведены для подтверждения адекватности полученных результатов теоретических исследований.

Определены наиболее вероятные места образования местных скоплений метана в горных выработках для различных схем проветривания выемочных участков (1-В, 2-В, 3-В). При схемах проветривания с выдачей исходящей струи воздуха на выработанное пространство, метановыделение в вентиляционную выработку растянато на расстоянии 20...440 м от забоя лавы в зависимости от аэродинамического сопротивления изолятора под вентиляционным штреком. Установлено, что чем больше аэродинамическое сопротивление изолятора, тем более растянут вынос метана по длине выработки.

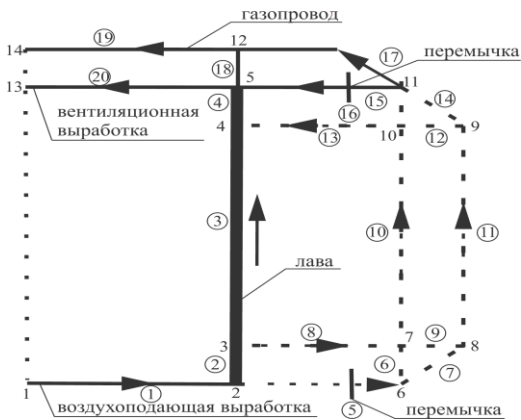
Для получения обобщающих сведений о численных значениях газовыделения из сближенных угольных пластов при дегазации выполнено математическое моделирование влияния работы дегазационных скважин друг на друга в зонах их взаимодействия, расположенных по падению и простиранию разрабатываемого угольного пласта.

При моделировании принимались средние значения относительного давления газа до включения дегазационной скважины в работу (P_2) согласно ранее полученным данным без дегазации и при средней проницаемости пород $P_2/P_0 = 1,13$ – на расстоянии до 100 м от лавы и $P_2/P_0 = 1,1$ P_0 – на расстоянии 100...150 м. Разрежение принималось таким образом, чтобы снизить давление в угольно-породном массиве до $0,9P_2$ и тем самым отобрать метан по всей длине лавы, исключая подсосы воздуха из выработанного пространства.

Из анализа полученных результатов установлено, что при снижении давления в угольно-породном массиве ниже 100 кПа, достигается

максимальная эффективность по извлечению метана. Это позволило определить динамику газовыделения из сближенных угольных пластов при отключении дегазации.

Для оценки влияния параметров работы системы газоотсоса на воздухораспределение в горных выработках выемочного участка разработана принципиальная схема модели, состоящая из действующих выработок шахты, системы газоотсоса (вентилятор, газопроводы) и выработанного пространства, с разделением утечек воздуха на два нормируемых потока (направления) в пределах призабойного пространства и остальной части выработанного пространства (рисунок 6).



1-14 – номера узлов схемы;
1-20 – номера ветвей схемы

Рисунок 6 – Принципиальная схема вентиляционных соединений выработок и газопроводов для определения влияния газоотсоса на аэродинамические параметры выемочного участка

Принципиальная схема в каждом случае привязывается к конкретной схеме проветривания шахты и выемочного участка. Лава разделяется на три части: вход в лаву, средняя часть и выход из лавы. Тупик погашения вентиляционной выработки и ветвь, моделирующая поступление воздуха в лаву, в расчетной схеме принималась отдельными ветвями, чтобы в процессе расчетов и анализа иметь данные о направлении и количестве воздуха, идущего по ним, так как они становятся диагоналями при работе системы газоотсоса.

Аэродинамическое сопротивление отдельных участков (ветвей) утечек воздуха в выработанном пространстве определялись по удельному аэродинамическому сопротивлению и длине участков с учетом средних значений шагов посадки непосредственной и основной кровли и общей длины лавы.

Исследования выполнялись на основе фактических данных параметров проветривания выемочного участка и газоотсасывающей установки на примере характерного выемочного участка 2-й западной лавы пласта h_8 шахты «Шахтерская-Глубокая».

Компьютерное моделирование выполнялось на газопроводы различного диаметра и длины, а также аэродинамического сопротивления тупика погашения вентиляционного штрека с перемышкой.

Установлено, что с увеличением длины газопровода влияние вентилятора ВМЦГ-7М на изменение параметров проветривания выемочного участка уменьшается при прочих равных условиях, уменьшается и эффективность его работы. С увеличением аэродинамического сопротивления перемышки в тупике погашения вентиляционной выработки, вынос утечек воздуха в лаву увеличивается с 21,7 до 283,6 м³/мин, т.е. в 13 раз.

В тупике погашения расход воздуха изменился с 253 до – 151,8 м³/мин, т.е. струя опрокидывается при диаметре газопровода 1000 – 1200 мм и длине выработок 400 и 200 м соответственно. В исходящей вентиляционной струе участка расход воздуха уменьшился с 1157 до 606 м³/мин, т.е. почти в 1,9 раза.

Таким образом, изменяя длину и диаметр газопровода можно существенно изменить распределение воздуха в лаве, на вентиляционном штреке и в выработанном пространстве, что следует учитывать при определении расхода воздуха для проветривания выемочных участков.

Для проверки соответствия результатов теоретических исследований переходных газодинамических процессов в горных выработках выемочных участков при изменении параметров проветривания и дегазации выполнены численные экспериментальное исследования на основе разработанной математической модели (13).

Оценка газовой обстановки выполнялась на основе данных семи выемочных участков шахт (им. А.Ф. Засядько, «Щегловская-Глубокая» и им. А.А. Скочинского) с различной интенсивностью метановыделения.

Результаты теоретического расчета газовой обстановки по выемочным участкам шахты им. А.Ф. Засядько при общем обесточивании горного предприятия, представлены на рисунке 7.

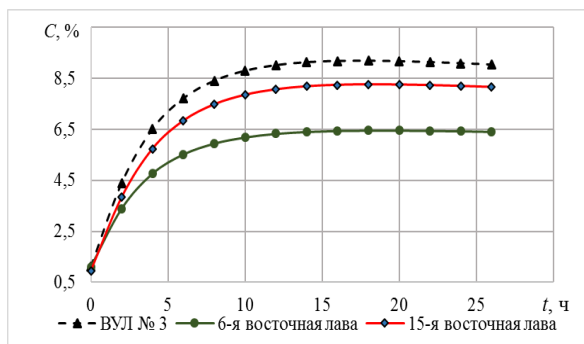


Рисунок 7 – Результаты прогнозирования газовой обстановки в выемочных участках шахты имени А.Ф. Засядько при общем обесточивании горного предприятия

Сопоставление результатов теоретического расчета динамики объемной доли метана с фактическими данными полученными в ходе ликвидации аварийной ситуации на выемочном участке ВУЛ №3 пласта m_3 представлены на рисунке 8.

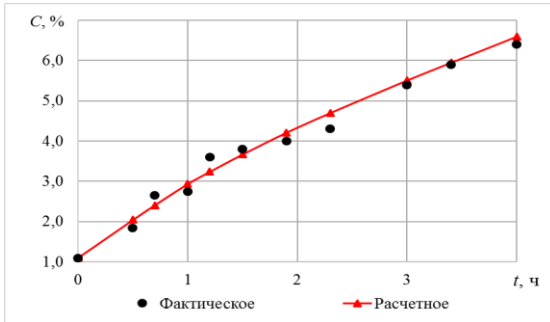


Рисунок 8 – Динамика объемной доли метана на выемочном участке ВУЛ № 3 пласта m_3 шахты имени А.Ф. Засядько

Адекватность предложенной математической модели, описывающей переходные газодинамические процессы в выемочных участках при изменении параметров проветривания и дегазации подтверждается близкой сходимостью результатов теоретического расчета с фактическими данными. Расхождения находятся в пределах относительной погрешности и обусловлены зависимостью результатов измерений.

Относительная погрешность по исследуемым выемочным участкам шахт не превышала 14 %.

В четвертом разделе разработан и апробирован метод прогноза абсолютного метановыделения на выемочном участке по горно-геологическим данным при отключении дегазации; обоснованы параметры формирования резервов воздуха в вентиляционной сети шахт; представлен алгоритм расчета газовой обстановки в выемочных участках шахт при общем обесточивании горных предприятий и рассчитан годовой экономический эффект от внедрения результатов работы.

Теоретические исследования процессов движения метановоздушной смеси в угольно-породном массиве выемочного участка позволили разработать метод прогноза абсолютного метановыделения на выемочном участке при отключении дегазации в следующем виде:

$$I_{\text{отк}} = I_{\text{уч}0} + \frac{I_{\text{д}}}{k_{\text{пр}}} \cdot (1 - e^{-a \cdot t_{\text{д}}}), \quad (14)$$

где $I_{\text{отк}}$ – абсолютное метановыделение на выемочном участке при отключении дегазации, $\text{м}^3/\text{мин}$;

$I_{\text{уч}0}$ – общая метанообильность выемочного участка без дегазации $\text{м}^3/\text{мин}$;

$I_{\text{д}}$ – дебет метана капируемый дегазацией, $\text{м}^3/\text{мин}$;

$k_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий прирост метановыделения из сближенных угольных пластов, 1;

a – коэффициент прироста метановыделения в исходящей вентиляционной струе выемочного участка при отключении дегазации, 1;

$t_{\text{д}}$ – продолжительность отключения дегазации, мин.

Основной искомой величиной является коэффициент прироста метановыделения в исходящей вентиляционной струе выемочного участка, учитывающий параметры источников газовой выделения в угольно-породном массиве и определяется по формуле:

$$\alpha_{\Pi} = \frac{k_{\text{вп}} \cdot x_{\text{max}}}{h_{\text{ср}}} \left[\frac{m_{\text{пл}} \sum m_i}{\sum m_i \left(1 - \frac{h_{\text{ср}}}{l_{\text{сп}}} \right)} \right], \quad (15)$$

где $k_{\text{вп}}$ – коэффициент увеличения метановыделения из выработанного пространства;

$h_{\text{ср}}$ – среднее расстояние от кровли разрабатываемого пласта до i -го сближенного пласта, м;

x_{max} – расстояние от забоя лавы до зоны разгрузки сближенных угольных пластов, м;

m_i – мощность дегазируемого i -го сближенного угольного пласта, м;

$l_{\text{сп}}$ – расстояние по нормали между разрабатываемым и сближенным угольным пластом, при котором метановыделение из последнего практически равно нулю, м.

Поскольку проведение исследований, связанных с отключением дегазации в действующих шахтах не представляется возможным, поэтому достоверность разработанного метода подтверждалась результатами данных проведенных экспериментальных исследований и теоретического расчета. С этой целью собраны данные горногеологической и горнотехнической характеристики по восьми выемочным участкам с различной интенсивностью метановыделения (от 3,8 до 18,6 м³/мин), в которых экспериментально отключали дегазацию и сопоставлены с результатами проведенного теоретического расчета. Относительное отклонение расчетных значений от экспериментальных данных по исследуемым выемочным участкам не превышало 13 %.

По результатам прогнозирования газовой обстановки в выемочном участке для обеспечения безопасного проветривания горных выработок, необходимо определить максимально допустимый расход воздуха. Так как увеличение дополнительного расхода воздуха может привести к резкому повышению метановыделения в верхней части лавы и на исходящей вентиляционной струе, поэтому необходимо производить ступенчатое увеличение подачи воздуха на выемочный участок. Для этого определяем коэффициент увеличения расхода воздуха в исходящей вентиляционной струе выемочного участка ($k_{\text{рег.уч}}$) по формуле:

$$k_{\text{рег.уч}} = \frac{(C_{\text{д}} - C_0) Q_{\text{уч}}}{100 I_{\text{отк}}} + 1, \quad (16)$$

где C_d – предельно допустимая объемная доля метана, %;

C_0 – объемная доля метана в поступающей на выемочный участок вентиляционной струе до отключения дегазации, %;

$Q_{уч}$ – расход воздуха на выемочном участке до отключения системы дегазации, $m^3/мин$.

Задавая значениями фактической скорости вентиляционной струи в лаве ($v_{л}$) и площадью поперечного сечения лавы ($S_{л}$), определяем по номограмме (рисунок 9) коэффициент увеличения расхода воздуха в исходящей вентиляционной струе из лавы ($k_{рег.л}$)

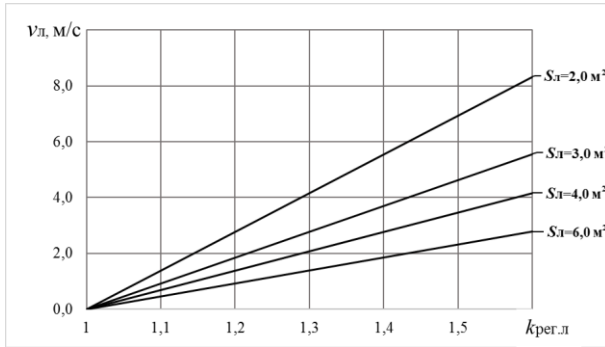


Рисунок 9 –
Зависимость скорости
вентиляционной струи
в лаве от площади
поперечного сечения
лавы и коэффициента
увеличения расхода
воздуха

Из полученных значений $k_{рег.уч}$ и $k_{рег.л}$ выбирается наименьшее. Тогда максимально допустимый расход воздуха для безопасного проветривания аварийного участка (Q_{max}) определяется по формуле:

$$Q_{max} = Q_{уч} k_{рег.уч(л)} \quad (17)$$

На основе проведенных исследований разработаны и внедрены в горноспасательные подразделения «Рекомендации по выбору режимов проветривания выемочных участков при отключении систем дегазации и газоотсоса», предназначенные для ликвидации аварий и аварийных ситуаций на системах дегазации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований изменения параметров проветривания и отключения систем дегазации в выемочных участках дано решение актуальной научно-технической задачи повышения эффективности и безопасности ведения горноспасательных работ.

Основные результаты выполненных исследований сводятся к следующему:

1. Анализ существующих методов оценки газовой обстановки в выемочных участках при отключении систем дегазации показал, что в них не учитываются основные параметры, влияющие на интенсивность метановыделения из выработанного пространства, и имеют значительные расхождения при расчетах (26 % и более) в сравнении с фактическими данными.

2. Разработана математическая модель процесса истечения метана в дегазационную скважину при различных режимах фильтрации от создаваемого разрежения в дегазационной сети. Получено решение начально-краевой задачи, которое позволяет определить величину дебита метана в дегазационную скважину и в выработанное пространство.

3. Разработана математическая модель динамики объемной доли метана в горных выработках выемочного участка при изменении расхода воздуха и дебита метана с учетом фильтрации газов в породах кровли выработанного пространства, коэффициентов пьезопроводности и диффузии метана, что позволило определить необходимый расхода воздуха для проветривания выемочного участка и нормализации газовой обстановки.

4. Разработана компьютерная модель работы газоотсасывающего вентилятора ВМЦГ-7М для возвратноточной схемы проветривания выемочного участка с разделением утечек воздуха через выработанное пространство на два потока, что позволило достоверно (расхождение с данными депрессионной съемки не превышают 2 %) определить воздухораспределение по выработкам выемочного участка, расход воздуха в исходящей струе выемочного участка, направление его движения в тупике погашения, а также поступление воздуха из выработанного пространства в лаву при работе и остановке газоотсасывающего вентилятора.

5. Определены основные резервы воздуха в вентиляционных сетях шахт и обоснованы параметры подачи дополнительного расхода воздуха на выемочные участки, что позволило повысить безопасность ведения горноспасательных при ликвидации аварий и аварийных ситуаций на системах дегазации.

6. Разработан и включен в Рекомендации метод прогноза абсолютного метановыделения на выемочном участке по горно-геологическим данным при отключении систем дегазации.

6. Разработан алгоритм оценки газовой обстановки в выемочном участке при изменении режима работы вентиляции и дегазации, вследствие общего обесточивания шахты.

7. Разработаны и утверждены Рекомендации (приказ МЧС ДНР от 15.10.2018 № 324). Внедрение в горноспасательные подразделения МЧС ДНР Рекомендаций позволяет обеспечить эффективную и безопасную работу горноспасательных подразделений при отключении систем дегазации и получить от этого годовой экономический эффект, составляющий более 7 млн рос. руб.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТИЦИИПубликации в рецензируемых изданиях ВАК Минобрнауки ДНР:

1. Пашковский, П.С. Проветривание выемочных участков при отключении систем дегазации / П.С. Пашковский, Н.В. Карнаух, **А.В. Мавроди** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2017. – Вып. № 1(54). – С. 85-93.
2. Пашковский, П.С. Влияние газоотсасывающей установки на распределение воздуха в выемочных участках / П.С. Пашковский, Н.В. Карнаух, **А.В. Мавроди**, В.В. Захлебн. Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2017. – Вып. № 4(54). – С. 42-51.
3. Воронов, П.С. Интенсивность изменения метановыделения на выемочных участках при отключении систем дегазации / П.С. Воронов, Н.В. Карнаух, **А.В. Мавроди** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2017. – Вып. № 4(54). – С. 60-69.
4. Карнаух, Н.В. Условия ведения аварийно-спасательных работ и качество схем проветривания выемочных участков / Н.В. Карнаух, **А.В. Мавроди** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2018. – Вып. № 4(55). – С. 78-86.
5. Пашковский, П.С. Нормализация газового режима выемочного участка при отключении системы дегазации // П.С. Пашковский, Н.В. Карнаух, **А.В. Мавроди** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2019. – Вып. № 2(56) – С. 78-87.
6. **Мавроди, А.В.** Использование резерва воздуха на выемочных участках при отключении систем дегазации / Мавроди А.В. // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2019. – Вып. № 3(56). – С. 73-81.
7. **Мавроди, А.В.** Программное обеспечение горноспасательных работ / А.В. Мавроди, В.В. Захлебн. // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2020. – Вып. № 1(57) С. 86-93.
8. Гулько, С.Е. Влияние дегазации на метановыделение из сближенных пластов / С.Е. Гулько, **А.В. Мавроди** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2021. – Вып. № 3(58). – С. 42-48.
9. Агеев, В.Г. Математическая модель газодинамических процессов при техногенных авариях в шахтах, вследствие их обесточивания / В.Г. Агеев, С.П. Греков, **А.В. Мавроди** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2022. – Вып. № 2(59). – С. 47-56.
10. **Мавроди, А.В.** Прогноз газовой обстановки на выемочном участке при обесточивании угольной шахты / А.В. Мавроди // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2022. – Вып. № 3(59). – С. 27-37.
11. **Мавроди, А.В.** Газодинамические процессы в выемочном участке угольной шахты при техногенной аварии / Мавроди А.В. // «Вестник академии гражданской защиты»: научный журнал. – Донецк: ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2022. – Вып. 3 (31). – С. 54-59.

12. Агеев, В.Г. Инженерный метод расчета переходных газодинамических процессов на выемочных участках шахт при их обесточивании / В.Г. Агеев, С.П. Греков, **А.В. Мавроди** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2022. – Вып. № 4(59). – С. 7-16.

Публикации в сборниках материалов международных научно-практических конференций:

13. Воронов, П.С. Роль систем дегазации для обеспечения безопасности горных работ в угольных шахтах / П.С. Воронов, **А.В. Мавроди** // XVI Междунар. конф. «Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий». Вестник ДонНАСА. – Макеевка, 2017. – Вып. 4(126). Научно-технические достижения студентов строительно-архитектурной отрасли. – С. 85-88.

14. Карнаух, Н.В. Обеспечение безопасности ведения горных работ на выемочном участке при остановке системы дегазации / Н.В. Карнаух, **А.В. Мавроди** // Первая Республиканская научная конференция «Современные состояние и перспективы дальнейшего развития системы гражданской обороны Донецкой народной Республики»: сб. матер. – Донецк: АГЗ, 2017. – С. 214-224.

15. Воронов, П.С. Определение изменения метановыделения на выемочном участке при остановке системы дегазации / П.С. Воронов, **А.В. Мавроди** // XII Междунар. науч.-практ. конф. «Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах». – Кемерово: КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, 2017. – С. 107-1 – 107-5.

16. Воронов, П.С. Формирование резервов воздуха на выемочных участках угольных шахт при отключении систем дегазации / П.С. Воронов, **А.В. Мавроди** // XII Междунар. науч.-практ. конф. «Пожарная и аварийная безопасность» Сб. матер. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 37-41.

АННОТАЦИЯ

Мавроди Александр Викторович. **Обоснование параметров проветривания выемочных участков при отключении систем дегазации.** – На правах рукописи

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям) (технические науки). – ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР». – Донецк, 2023.

В диссертации представлены результаты теоретических и численных экспериментальных исследований газодинамики в угольно породном массиве выработанного пространства при отключении систем дегазации, что позволило обосновать параметры проветривания выемочных участков из резервных источников вентиляционной сети шахты.

Разработана математическая модель переходных газодинамических процессов в горных выработках выемочных участков при изменении параметров проветривания и дегазации. Подтверждена ее адекватность путем сравнения результатов теоретического расчета с экспериментальными данными.

Для эффективного применения мероприятий по подаче дополнительного расхода воздуха на выемочные участки при отключении систем дегазации разработан метод прогноза абсолютного метановыделения по горно-геологическим данным и установлена зависимость скорости вентиляционной струи от коэффициента увеличения расхода воздуха, площади поперечного сечения горных выработок и сложившейся газовой обстановки на аварийном участке.

Ключевые слова: выемочный участок, переходный газодинамический процесс, метановыделение, отключение системы дегазации, выработанное пространство, резерв воздуха, аварийная ситуация, загазирование.

ABSTRACT

Mavrodi Alexandr Viktorovich. **Justification of the parameters of ventilation of excavation sites when the degassing systems are turned off.**

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.26.03 – Fire and industrial safety (by industry) (engineering). – GBU NII “Respirator” EMERCOM DPR. – Donetsk, 2023.

The dissertation presents the results of theoretical and numerical experimental studies of gas dynamics in the coal-rock massif of the worked-out space when the degassing systems are turned off, which made it possible to substantiate the parameters of ventilation of excavation sites from backup sources of the mine ventilation network.

A mathematical model of transient gas-dynamic protrusions in the workings of excavation sites has been developed when the parameters of ventilation and degassing change. Its adequacy was confirmed by comparing the actual data obtained experimentally with the results of the calculation.

For the effective application of measures to supply additional air flow to the excavation site when the degassing system is turned off, the dependence of the coefficient characterizing the increase in air flow on the speed of the ventilation jet, the cross-sectional area of the mine workings and the current gas situation at the emergency site has been established and a methodology for predicting absolute methane release from mining and geological data has been developed.

Keywords: excavation site, transient gas-dynamic process, methane release, shutdown of the degassing system, developed space, air reserve, emergency, gasification.