

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 ситуациями ликвидации последствий
стихийных бедствий Донецкой Народной Республики»

На правах рукописи



Агарков Александр Владиславович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ
ГАЗОВОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ
РАБОТ В ШАХТАХ**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк – 2022

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: **Мамаев Валерий Владимирович**,
доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
первый заместитель директора (по научной работе)
ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР», г. Донецк

Официальные оппоненты: **Малеев Николай Владимирович**,
доктор технических наук, начальник
Государственного унитарного предприятия
Донецкой Народной Республики
«Донецкий экспертно-технический центр»,
г. Донецк

Говорухин Юрий Михайлович,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник
научно-исследовательского отдела
Федерального государственного казенного
учреждения дополнительного профессионального
образования «Национальный аэромобильный
спасательный учебно-тренировочный центр
подготовки горноспасателей и шахтеров»,
г. Новокузнецк

Ведущая организация: **Государственное бюджетное учреждение
«Институт физики горных процессов»**, г. Донецк

Защита диссертации состоится «01» декабря 2022 г. в 15:00 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 «____» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 01.027.01
кандидат технических наук



И.Г. Старикова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Угольная промышленность – одна из ключевых отраслей экономики. Однако при постоянном повышении уровня промышленной безопасности и противопожарной защиты шахт, подземные пожары остаются наиболее распространенным видом аварий, ликвидация которых сопряжена с возможностью взрыва газовоздушной смеси и возникновением других условий, опасных для жизни горноспасателей. В этом случае получение достоверных данных о шахтной среде аварийного участка путем дистанционного контроля газовой обстановки в течение всего периода ликвидации аварии – одно из главных условий безопасного и эффективного ведения аварийно-спасательных работ.

В настоящее время горноспасательные подразделения применяют в шахтах дистанционный контроль газовой обстановки, основанный на непрерывном прокачивании газовоздушной смеси через пробоотборный гибкий трубопровод благодаря разрежению, создаваемому побудителем расхода, а также на отборе и последующем анализе проб шахтного воздуха в газоаналитической лаборатории.

Результаты анализа проб воздуха при определении концентраций метана, оксида и диоксида углерода, водорода, кислорода и других газов являются основными данными для оценки динамики и степени развития пожара.

Однако недостатком данного способа и применяемых технических средств является отсутствие достоверности газового контроля аварийных участков, так как в практике ликвидации пожаров имеют место случаи взрывов газовоздушных смесей, в то время как по результатам анализа отобранная смесь газов была не взрывчатой, а также когда по результатам дистанционного контроля газовой обстановки аварийного участка наблюдалась взрывоопасная ситуация, а взрывов не было.

Это связано с тем, что данным дистанционным способом контроля газовой обстановки регламентирован точечный отбор проб воздуха в аварийной выработке и не предусмотрен оперативный анализ газовоздушной смеси непосредственно в шахте. Недостатком также является высокая вероятность разбавления отбираемых проб пожарных газов вследствие отсутствия герметичности пробоотборных трубопроводов. Скапливание влаги в результате провисаний гибких магистралей влияет на эффективность работы пробоотборной системы в целом.

Анализ теоретических исследований многих авторов показал, что предлагаемые теоретические методы контроля газовой обстановки не позволяют осуществлять оценку динамики температуры и концентраций газов, а также опасности слоевых скоплений метана в горных выработках при авариях с учетом условий проветривания, геометрических размеров выработки, коэффициентов массо- и теплопереноса в условиях пожара и других параметров.

Таким образом, повышение эффективности дистанционного контроля газовой обстановки шахт при авариях путем установления факторов, влияющих на получение объективных данных о газовой обстановке в аварийном участке, а также совершенствования способов и технических средств дистанционного отбора и анализа проб шахтного воздуха являются актуальным направлением научных исследований, имеющим важное практическое значение.

Диссертация выполнена в соответствии с Планами работы НИИГД «Респиратор» на 2018 – 2020 гг. в рамках научно-исследовательских

и опытно-конструкторской работ № 11811018: «Разработать Методические рекомендации по дистанционному отбору проб газов из пожарных участков на расстоянии более 1000 м», «Обосновать способ и параметры технических средств дистанционного отбора проб шахтного воздуха», «Усовершенствовать способ и технические средства дистанционного отбора проб шахтного воздуха при ведении аварийно-спасательных работ» при непосредственном участии автора в качестве ответственного исполнителя.

Степень разработанности темы. Теоретическим и экспериментальным исследованиям контроля газовой обстановки шахт при авариях посвящены научные труды ведущих ученых: Агеева В.Г., Боброва А.И., Болбата И.Е., Брюханова А.М., Говорухина Ю.М., Грекова С.П., Жадана В.М., Зинченко И.Н., Кравченко М.В., Кравченко Н.М., Лебедева В.И., Малеева Н.В., Осипова С.Н., Палеева Д.Ю., Пашковского П.С., Сергеева В.С., Ушакова К.З. и др.

Разработке и совершенствованию техники и технологии дистанционного контроля газовой обстановки в шахтах посвящены труды Брюма В.З., Бусыгина К.К., Голика А.С., Ковальчука В.И., Медведева В.Н., Романчука А.Л., Токарева О.С., Чуприкова А.Е., Fauth G., Fink Z., Kukuczka A., Zilliesen K., Zipf R. и др.

Несмотря на значительный объем проведенных исследований, методы и средства дистанционного контроля газовой обстановки при ликвидации аварий в шахтах имеют вышеуказанные недостатки, что не позволяет оперативно и достоверно осуществлять оценку газовой обстановки в аварийных выработках. Поэтому повышение эффективности газового контроля аварийных участков шахт дистанционным способом является актуальной научно-технической задачей.

Цель и задачи исследования. Цель работы – повышение эффективности дистанционного контроля газовой обстановки в горных выработках путем установления закономерностей распространения пожарных газов и получения достоверных данных при отборе и анализе проб воздуха из аварийных участков для обеспечения безопасности и эффективности ведения аварийно-спасательных работ.

Для достижения цели в диссертации поставлены и решены следующие задачи:

- установлены основные факторы, влияющие на отсутствие эффективности контроля газовой обстановки дистанционным способом;
- проведены теоретические исследования распространения пожарных газов по сечению и длине горных выработок при авариях;
- выполнено сравнение результатов экспериментальных исследований по дистанционному контролю газовой обстановки с теоретическими данными;
- научно обоснован способ многоточечного отбора проб воздуха по сечению горной выработки, прокачивания газозооушной смеси по магистрали с фильтрующими элементами и экспресс-анализа проб непосредственно в шахте;
- разработана техническая документация, изготовлена, испытана и внедрена в эксплуатацию горноспасательного подразделения усовершенствованная система дистанционного отбора проб шахтного воздуха (УСДОП).

Объект исследования – газодинамические и теплообменные процессы в горных выработках шахт при пожарах.

Предмет исследования – дистанционный контроль газовой обстановки при ведении аварийно-спасательных работ в шахтах.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем.

1. Установлены аналитические зависимости температуры и концентраций газов для нестационарных и стационарных процессов распространения тепла и газов в зависимости от условий проветривания с учетом геометрических размеров выработки, коэффициентов массо- и теплопереноса в условиях пожара, которые отличаются от известных возможностью определять динамику пожарных газов от очага пожара до места установки пробоотборного устройства системы дистанционного отбора и анализа проб шахтного воздуха. Это позволило повысить эффективность дистанционного контроля газовой обстановки в аварийных горных выработках.

2. Установлены зависимости процесса слоевого загазования метаном горной выработки, которые отличаются от известных учетом совокупного влияния горнотехнических параметров, характеризующих геометрические размеры выработки, условия проветривания, дебит метана, наличие источников газовыделения. Это позволило повысить достоверность контроля газовой обстановки при слоевых скоплениях метана в аварийных горных выработках.

3. Научно обоснованы конструктивные особенности системы дистанционного контроля газовой обстановки в выработке, обеспечивающие принципиально новый способ многоточечного отбора проб воздуха по сечению выработки, прокачивания газовоздушной смеси по магистрали с фильтрующими элементами и экспресс-анализа проб непосредственно в шахте. Это позволило повысить достоверность и оперативность определения состава шахтной среды на безопасном расстоянии от аварийного участка путем дистанционного контроля газовой обстановки для оценки пожаро- и взрывобезопасности при ведении аварийно-спасательных работ.

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

- установленных зависимостях концентраций газов и температуры, определяющих газовую обстановку в выработке и используемых в рамках математической модели для адекватного описания процессов массо- и теплопереноса с учетом условий проветривания, геометрических размеров выработки, коэффициентов массо- и теплопереноса, наличия источников газо- и тепловыделения в условиях пожара;

- разработанных математической модели и алгоритме определения уровня накопления газов и зон формирования слоевых скоплений метана в выработке.

Практическая значимость работы обусловлена:

- определением скорости повышения загазования и температуры в выработке при внезапных прорывах газа или при возникновении очага пожара;

- определением мест слоевых скоплений метана в горных выработках;

- повышением достоверности и оперативности дистанционного контроля газовой обстановки для определения безопасных и эффективных условий ведения аварийно-спасательных работ в горных выработках шахт.

Разработана конструкторская документация и изготовлена система УСДОП, которая была испытана и внедрена в эксплуатацию горноспасательного подразделения.

Результаты диссертационной работы получили внедрение в научный и учебный процессы ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» («ДОННТУ») при проведении занятий по дисциплине «Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело».

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

Методология и методы исследования. Использован комплексный метод исследования, включающий анализ литературных источников, патентных материалов, нормативных и методических документов, проведение теоретических и экспериментальных исследований, апробацию полученных результатов и оценку экономической эффективности внедрения разработки.

Выполнено математическое моделирование с использованием фундаментальных законов тепломассопереноса, теории дифференциальных уравнений и численных методов их решения при реализации математических моделей, методов математической статистики для обработки результатов экспериментальных исследований.

Обработка результатов, статистической информации, построение таблиц, графиков, диаграмм, разработка рабочих чертежей, принципиальных схем осуществлялись с использованием пакетов прикладных компьютерных программ.

Положения, выносимые на защиту.

1. Зависимости скорости распространения пожарных газов для стационарных и нестационарных процессов тепломассообмена в зависимости от условий проветривания с учетом геометрических размеров выработки, коэффициентов тепло- и массопереноса при пожаре для определения динамики пожарных газов от очага пожара до места установки пробоотборного устройства системы дистанционного контроля газовой обстановки в аварийных горных выработках.

2. Математическая модель процесса формирования и определения мест слоевых скоплений метана с учетом совокупного влияния горнотехнических параметров, характеризующих геометрические размеры горной выработки, условия проветривания, дебит метана, наличие источников газовыделения для повышения достоверности контроля газовой обстановки в аварийных выработках.

3. Научно обоснованный способ дистанционного контроля газовой обстановки при ведении аварийно-спасательных работ в шахтах, основанный на многоточечном отборе проб воздуха по сечению горных выработок, прокачивании газозооушной смеси по магистрали с фильтрующими элементами и экспресс-анализе проб непосредственно в шахте на безопасном расстоянии от аварийного участка.

Степень достоверности и апробация результатов диссертации. Достоверность подтверждена: корректностью поставленных задач, обоснованностью принятых допущений, адекватностью разработанных математических моделей, соответствием полученных зависимостей физическим законам и установившимся представлениям о процессах тепло- и массопереноса в ограниченном пространстве, обработкой результатов исследований методами математической статистики, согласованностью результатов с известными теоретическими и экспериментальными результатами других исследователей, полученными альтернативными методами (максимальная относительная погрешность теоретических и экспериментальных исследований не превышает 14 %), использованием контрольно-измерительной аппаратуры, обеспечивающей погрешность измерения не выше, чем допускается для задач, рассматриваемых в работе, положительными результатами внедрения УСДОП.

Результаты диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку на заседаниях Ученого совета и его секций «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций» НИИГД «Респиратор» (2018 – 2022 гг.).

Основные положения и отдельные этапы диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительные отзывы на 12 научных конференциях и форумах, проводимых в ДНР, Российской Федерации, Республиках Беларусь, Казахстан и Приднестровской Молдавской Республике, в частности: ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР: III, IV Республиканские конференции «Современное состояние и перспективы дальнейшего развития системы гражданской обороны ДНР» (17.10.2019, 20.10.2020); II Республиканская конференция «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» (12.12.2019); II, III Республиканские конференции «Пожарная безопасность объектов Республики» (23.04.2020, 28.04.2021); ГОУВПО «ДОННТУ»: Международная конференция «Инновационные технологии разработки месторождений полезных ископаемых» (23.05.2019); Конференция «Донбасс будущего глазами молодых ученых» (23.11.2021); II Международный Форум «Проблемы горного дела» (08.04.2021); ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова» РАН: IV конференция «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (16.11.2020); ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь»: VIII Международная конференция «Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре и взрыве» (30.12.2021); НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби»: Международная конференция «Глобальные вызовы XXI века и окружающая среда» (02.12.2021); ГОУ «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко»: XII Международная конференция «Математическое моделирование в образовании, науке и производстве» (07.10.2021).

Личный вклад соискателя состоит в обосновании актуальности и идеи работы, ее реализации, формировании направлений исследований, постановке цели и задач исследований, выборе путей их решения, постановке и проведении аналитических и теоретических исследований, участии в экспериментальных исследованиях, обработке, анализе, систематизации и интерпретировании полученных результатов, формулировании научных положений и выводов, разработке технической документации на УСДОП, участии в испытаниях и внедрении изделия.

Публикации. Основные результаты диссертации изложены в 25 научных и учебно-методических работах, в том числе: семь статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях ВАК при Минобрнауки ДНР; четыре статьи – в изданиях ВАК при Минобрнауки России; 13 статей – в сборниках материалов научных конференций, входящих в наукометрическую базу РИНЦ; одна работа в виде методических указаний.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, основной части (из четырех разделов), заключения (с основными выводами), списка литературы из 166 наименований и шести приложений. Работа изложена на 184 страницах машинописного текста, содержит 65 рисунков и 20 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации; раскрыта связь работы с научными планами; представлена степень разработанности темы исследования; сформулированы цель и задачи исследования; определены объект, предмет, методология и методы исследования; охарактеризована научная новизна; приведены положения, выносимые на защиту; аргументировано теоретическое и практическое значение полученных результатов; рассмотрены вопросы обоснованности и достоверности научных положений; представлены результаты апробации диссертации, основные публикации и структура работы.

В первом разделе изложены результаты анализа аварийности на предприятиях угольной промышленности. Особую опасность в шахтах представляют пожары (45 % подземных аварий), а также взрывы газа и угольной пыли (7,6 %).

Установлено, что в мировой практике горного и горноспасательного дела применяют два основных варианта контроля газовой обстановки дистанционным способом путем использования сети:

- трубопроводов для отбора проб воздуха из контрольных точек шахты, доставки их на поверхность в специальных емкостях и анализа проб воздуха в газоаналитической лаборатории;

- систем мониторинга, датчики которых установлены непосредственно в точках газового контроля горных выработок. Информация о концентрациях измеряемых газов по каналам связи передается на диспетчерский пункт.

Сети пробоотборных трубопроводов имеют ряд преимуществ перед системами датчиков-газоанализаторов: значительное сокращение количества и стоимости газоаналитической аппаратуры, упрощение обслуживания аппаратуры за счет полного исключения датчиков, работоспособность системы в случаях прекращения подачи электроэнергии на аварийный участок, возможность контроля газовой обстановки в изолированном пространстве аварийного участка.

Однако дистанционный отбор проб шахтного воздуха имеет ряд недостатков, влияющих на достоверность оценки газовой обстановки аварийных участков: точечный отбор проб дистанционным способом (на уровне 2/3 высоты выработки от почвы), отсутствие оперативности газового анализа проб, разбавление их воздухом вследствие нарушения герметичности трубопроводов, скапливание влаги в результате провисаний трубопроводов, что создает сопротивление работе побудителю расхода и приводит к снижению эффективности работы пробоотборной системы в целом.

Анализ теоретических исследований многих авторов показал, что предлагаемые теоретические методы контроля газовой обстановки не позволяют осуществлять оценку динамики температуры и концентраций газов, а также опасности слоевых скоплений метана в горных выработках при авариях с учетом условий проветривания, геометрических размеров выработки, коэффициентов массо- и теплопереноса в условиях пожара и других параметров.

Второй раздел посвящен теоретическим исследованиям распределения газов по сечению и длине выработок при авариях. Рассмотрены процессы изменения температуры и газовой обстановки в выработке при наличии мгновенного и постоянного источника газовыделения, а также закономерности формирования слоевых скоплений метана в выработках. При рассмотрении вопросов *оценки газовой обстановки в выработках при авариях* для описания процессов массопереноса использовано уравнение нестационарной конвективной диффузии газов:

$$\frac{\partial \tilde{C}}{\partial t} + \frac{\partial(u\tilde{C})}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x}) - j\tilde{C}, \quad (1)$$

где $\tilde{C}$ – средняя по сечению выработки концентрация газа, кг/м³;
 t – время с момента начала отсчета, с;
 u – проекция скорости воздуха на ось координаты x , м/с;
 x – продольная координата в горной выработке, м;
 D_x – коэффициент турбулентной диффузии газов в направлении координаты x , м²/с;
 j – коэффициент интенсивности поглощения различных газов, 1/с.

Для решения уравнения (1) использован численный конечно-разностный метод. Для первой производной использована схема с центральными разностями, для второй производной – комбинированная схема с удельным весом p . Согласно предложенной модифицированной схеме с центральными разностями разработана программа расчёта на персональном компьютере формирования газовых режимов при различных нарушениях режимов вентиляции и дегазации в аварийном участке шахты. Рассмотрен перенос газов по выработке при возникновении в её начале источника газовой выделения с начальным и граничными условиями:

$$\tilde{C}(x, 0) = 0; \quad \tilde{C}(0, t) = 1; \quad \frac{\partial \tilde{C}(L, t)}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

где L – длина горной выработки, м.

Принято, что источники газовой выделения по длине отсутствуют.

Выполнено сравнение результата расчета загазования горной выработки при постоянно действующем источнике газовой выделения по разностной схеме с аналитическим решением уравнения (1) при начальном и граничных условиях (2):

$$C(x, t) = 0,5 \left\{ 1 + \Phi \left(\frac{ut - x}{2\sqrt{D_x t}} \right) + \exp \left(\frac{ux}{D_x} \right) \left[1 - \Phi \left(\frac{ut + x}{2\sqrt{D_x t}} \right) \right] \right\}, \quad (3)$$

где C – концентрация газа, кг/м³;

Φ – интеграл вероятности, 1.

При отсутствии проветривания горной выработки ($u = 0$) решение (3) принимает вид

$$C(x, t) = 1 - \Phi \left(\frac{x}{2\sqrt{D_x t}} \right). \quad (4)$$

Результаты численного моделирования и аналитических расчётов чистой диффузии газов в проветриваемой и непроветриваемой выработках представлены на рисунке 1. Зависимости концентрации метана в различных сечениях выработки от времени при действии мгновенного источника газовой выделения, расположенного в начале выработки (на расстоянии $x_i = 4\Delta x$, где x_i – место действия источника газовой выделения, м, Δx – шаг по пространственной координате, м) представлены на рисунке 2.

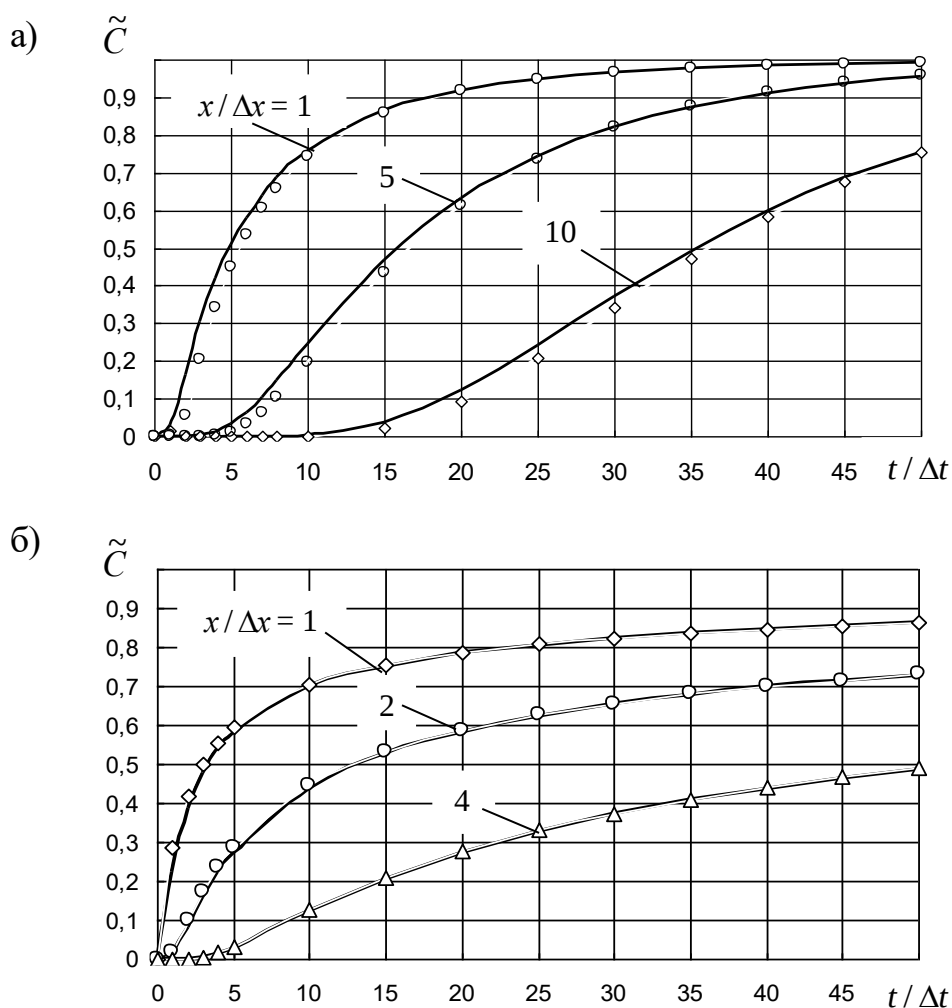


Рисунок 1 –
Результаты
численного
моделирования
(маркеры $\diamond$, $\circ$, Δ)
и аналитические
зависимости
концентрации
метана от времени
на различных
расстояниях
от источника
газовыделения
в проветриваемой (а)
и
непрветриваемой (б)
горных выработках

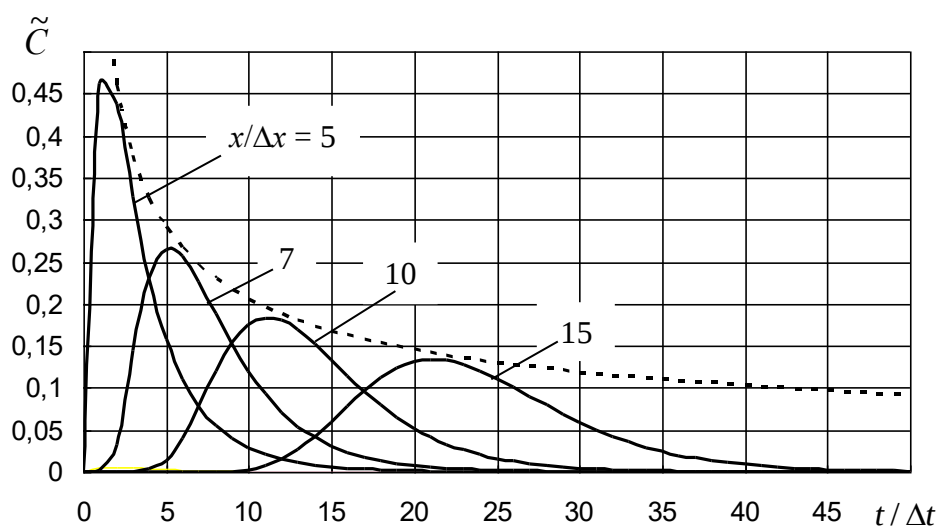


Рисунок 2 –
Зависимости
концентрации
метана
от времени
в различных
сечениях
горной
выработки
при действии
мгновенного
источника
газовыделения

Предлагаемая расчетная схема позволяет получать численным методом достоверные данные о нестационарных процессах переноса газов в горных выработках с источниками газовой выделения при авариях. С практической точки зрения оценка газовой обстановки, выполненная в рамках предложенной математической модели, позволяет определять динамику пожарных газов от очага пожара до места установки пробоотборного устройства системы дистанционного контроля газовой обстановки на безопасном расстоянии от аварийного участка.

Для исследования температурного поля в выработке при пожаре рассмотрен квазистационарный процесс горения, когда можно пренебречь изменениями во времени и изучать распределение средней по сечению выработки температуры. Уравнение при стационарном переносе тепла вдоль выработки имеет вид

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(a \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(a \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q, \quad (5)$$

где T – температура воздуха в горной выработке, К;
 v, w – проекции скорости воздуха на оси координат y и z , м/с;
 y, z – вертикальная и поперечная координаты в горной выработке, м;
 a – коэффициент температуропроводности воздуха, м²/с;
 q – плотность источника выделения тепла, К/с.

Средняя по сечению горной выработки температура перед зоной горения может быть определена по формуле

$$T(x) = T_0 + (T_1 - T_0) \exp \left[\left(\frac{\tilde{u}}{2a} + \sqrt{\frac{\tilde{u}^2}{4a^2} + \frac{\alpha_{уд}}{a}} \right) x \right], \quad (6)$$

а за зоной горения – по формуле

$$T(x) = T_0 + (T_1 - T_0) \exp \left[\left(\frac{\tilde{u}}{2a} - \sqrt{\frac{\tilde{u}^2}{4a^2} + \frac{\alpha_{уд}}{a}} \right) x \right], \quad (7)$$

где T_0 – температура воздуха при нормальных условиях, К;
 T_1 – температура воздуха в зоне горения, К;
 $\tilde{u}$ – средняя по сечению горной выработки скорость воздуха, м/с;
 $\alpha_{уд}$ – удельный коэффициент теплообмена со стенками выработки, 1/с.

Таким образом, задав исходные параметры, можно по формулам (6) и (7) установить распределение температур по всей длине выработки с очагом пожара.

Распределение относительных температур перед и за очагом пожара при скорости движения воздуха 1 м/с в выработке, сечением 4 м², представлено на рисунке 3. Температура по потоку в 50 м от очага пожара составляет 342 °С, т.е. третью часть от максимальной. Длина температурного шлейфа против потока сравнивалась с данными в работах С.Н. Осипова, В.М. Жадана, А.Е. Красноштейна и других, когда длина шлейфа доходила до 30 м при скорости движения воздуха 1 м/с и коэффициенте температуропроводности воздуха $a = 4$ м²/с за счёт лучистого теплообмена.

Таким образом, предложенная методика расчета позволяет оценивать изменение температурного поля в выработке при пожаре. Нарастание температуры при наличии очага пожара может быть оперативно определено по направлению вентиляционного потока в горной выработке. Оценка скорости повышения температуры при известной скорости воздуха и направлении воздушной струи позволяет определить расстояние до возможного очага пожара.

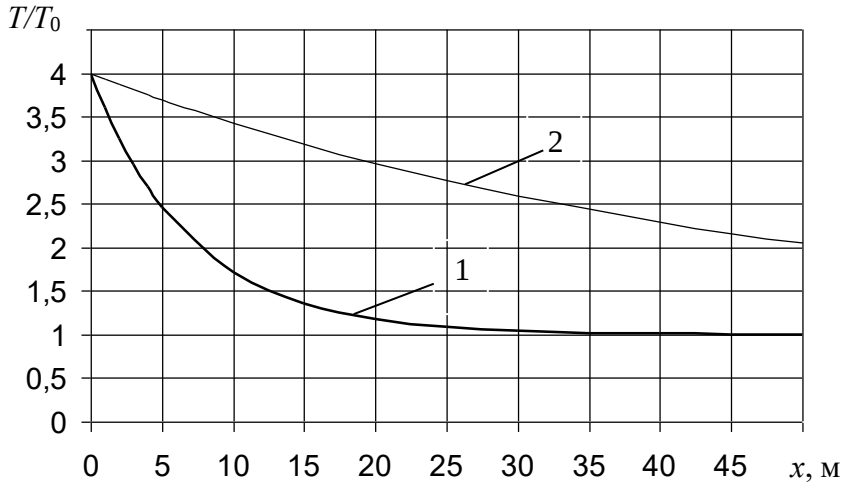


Рисунок 3 – Распределение относительных температур перед (1) и за (2) очагом пожара

При исследовании поля концентраций газов, в частности – оксида углерода, в горной выработке с очагом пожара, было использовано уравнение сохранения компоненты газовой смеси за пределами очага пожара:

$$\rho \left(\frac{\partial Z}{\partial \tau} + u \frac{\partial Z}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho D \frac{\partial Z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho D \frac{\partial Z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho D \frac{\partial Z}{\partial z} \right), \quad (8)$$

где ρ – плотность газа, кг/м³;

Z – концентрация одного из пожарных газов (оксида углерода), %;

τ – время с момента возникновения пожара, с;

D – коэффициент турбулентной диффузии пожарного газа, м²/с.

В условиях развившегося пожара, когда градиент концентрации пожарного газа вдоль выработки становится постоянным, а процесс переноса – стационарным, концентрация пожарного газа, как за зоной горения ($\tilde{u} > 0$), так и перед зоной ($\tilde{u} < 0$), может быть определена по формуле

$$Z(x) = Z_0 + (Z_1 - Z_0) \exp \left[\left(\frac{\tilde{u}}{2\tilde{D}} - \sqrt{\frac{\tilde{u}^2}{4\tilde{D}^2} + \frac{\gamma}{\tilde{D}}} \right) x \right], \quad (9)$$

где Z_0 – концентрация пожарного газа на стенках выработки, %;

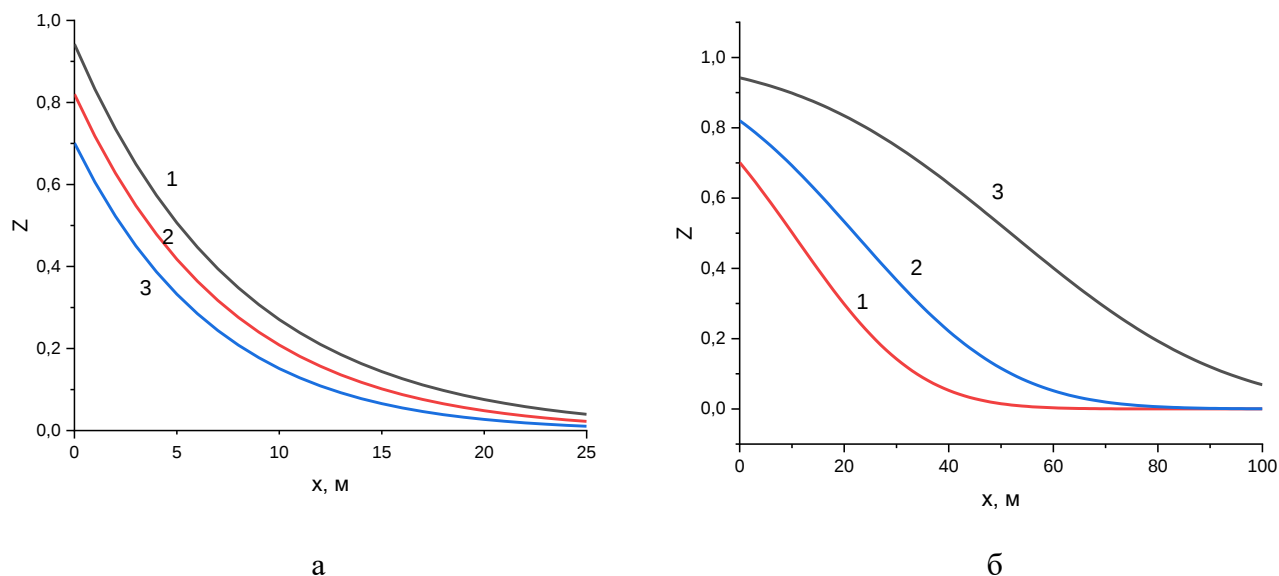
Z_1 – концентрация пожарного газа в зоне горения, %;

$\tilde{D} = \rho D / \rho_0$ – приведенный коэффициент турбулентной диффузии газа, м²/с;

ρ_0 – плотность воздуха, кг/м³;

$\gamma = 4\tilde{D} / \Delta y^2$ – коэффициент газообмена со стенками выработки, 1/с.

Профили относительной концентрации пожарного газа (например, оксида углерода) на различных расстояниях перед и за очагом пожара при скорости движения воздуха $\tilde{u} = 0,6$ м/с и приведенном коэффициенте турбулентной диффузии пожарного газа $\tilde{D} = 5$ м²/с представлены на рисунке 4. По оси ординат отложена безразмерная концентрация пожарного газа $\bar{Z}$. Поэтому представленные зависимости применимы к любому из газов, генерируемому очагом пожара.



1 – через 30 сек после начала возгорания, 2 – через 50 сек, 3 – через 100 сек

Рисунок 4 – Распределение относительной концентрации пожарного газа (оксида углерода) по длине выработки перед (а) и за (б) очагом пожара по направлению вентиляционной струи при скорости движения воздуха 0,6 м/с

Анализ результатов расчета позволяет сделать вывод, что проветривание аварийного участка или горной выработки практически не позволяет пожарным газам распространяться в направлении против вентиляционной струи (согласно результатам исследований, зона распространения газов при скорости движения воздуха 0,6...1,2 м/с составляет порядка 10 м). В то же время, по направлению вентиляционной струи пожарные газы распространяются достаточно быстро (со скоростью потока воздуха). Поскольку для описания изменения температуры и концентраций пожарных газов в выработке используются математические модели, из сравнения профилей температуры и концентрации газа следует, что они подобны.

В настоящее время дистанционный контроль газовой обстановки при авариях в шахтах не позволяет выявлять *слоевые скопления метана в выработках*. В основном они не фиксируются при расположении пробоотборного устройства за пределами слоевого скопления, местонахождение и параметры которого следует рассчитывать совместным решением уравнений движения воздуха, диффузии газов и неразрывности их потока. Для описания распределения газов в выработках использовано уравнение стационарной конвективной диффузии метана. Пренебрегая поперечным конвективным переносом в сравнении с продольным, получено:

$$\frac{\partial(uC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + f, \quad (10)$$

где D_y – коэффициент турбулентной диффузии газов в направлении координаты y , $\text{м}^2/\text{с}$;

f – интенсивность источников газовыделения, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^3)$.

Принимая во внимание, что основным параметром для определения возможности существования метановых слоев является число Ричардсона R_i , как отношение подъемных сил метана к динамическим силам воздуха, для нахождения коэффициента вертикальной диффузии метана или параметра a_k (эмпирическая константа, м) была использована формула при концентрированных источниках газовыделения (суфлярных выделениях метана) и $y = 0$

$$C(x, 0) = C_n + \frac{q(x)}{Q(x)} + \frac{q_{сл}}{ub\sqrt{\pi a_k x}}, \quad (11)$$

где C_n – начальная концентрация метана в выработке, 1;
 $q(x)$ – дебит метана, как функция от x вдоль горной выработки, м³/с;
 $Q(x)$ – расход воздуха по длине горной выработки, м³/с;
 $q_{сл}$ – дебит метана в слоевом скоплении, кг/м³;
 b – ширина выработки, м.

Определенная в результате расчета длина метанового слоя составляет

$$x_n = \frac{\delta^2 R_i^{0,25} \sqrt{S}}{6,8\pi(C_n - C_m)^2}, \quad (12)$$

где x_n – длина метанового слоя по концентрации C_n , м;
 δ – относительная толщина слоевого скопления по отношению к высоте выработки, 1;
 S – средняя площадь поперечного сечения выработки, м²;
 C_n – предельно допустимая концентрация метана в слое, 1;
 $C_m = C_n + q/Q$ – средняя концентрация метана за слоевым скоплением, 1.
 Формула расчета толщины слоевого скопления метана имеет вид:

$$y = 2\sqrt{a_k x} \left[\ln(\sqrt{x_n/x}) \right]^{0,5}. \quad (13)$$

Изолиния концентрации метана в выработке представлена на рисунке 5 в безразмерных координатах.

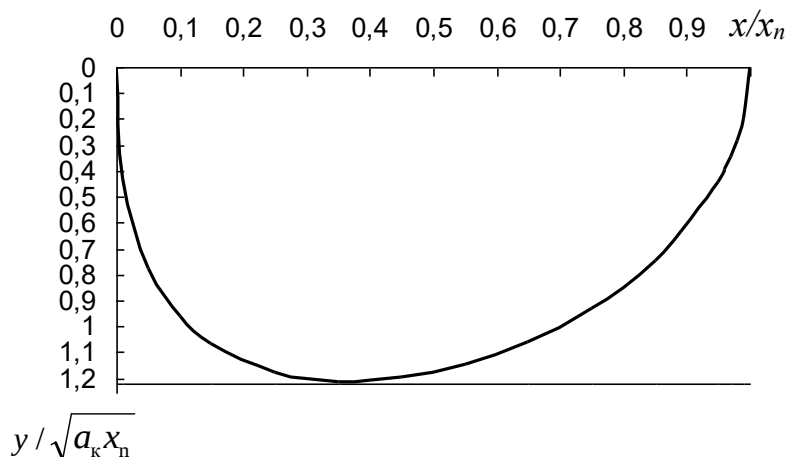


Рисунок 5 – Изолиния концентрации метана в слоевом скоплении

Как видно из рисунка 5, максимальная толщина слоя метана наблюдается ближе к месту газовыделения на расстоянии $x = 0,35x_n$ и равна

$$h_n = 1,22\sqrt{a_k x_n}, \quad (14)$$

где h_n – толщина слоевого скопления метана, м.

Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными в фундаментальных работах профессора К.З. Ушакова по исследованию слоевых скоплений метана в шахтах. Разработанный численный метод расчета слоевого загазования метаном горных выработок позволяет повысить достоверность контроля газовой обстановки при авариях в шахтах.

В третьем разделе изложены результаты экспериментальных исследований по дистанционному контролю газовой обстановки в условиях штольни ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР» и учебно-тренировочного полигона подземного типа Оперативного Государственного военизированного горноспасательного отряда г. Донецка МЧС ДНР. Использованы результаты многочисленных экспериментальных исследований, проведенных Грековым С.П., Осиповым С.Н., Жаданом В.М. и другими *в условиях штольни при изучении динамики развития экзогенного пожара.*

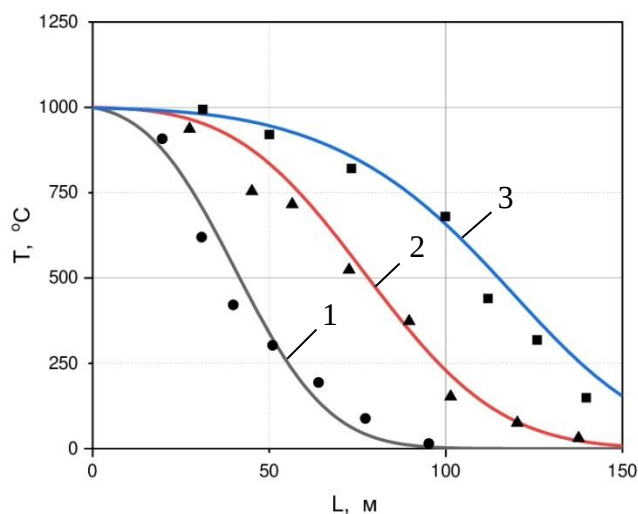
Использованы экспериментальные данные, полученные в условиях штольни, поскольку проведение таких исследований в действующих шахтах невозможно, а официальные сведения горноспасательной службы о ходе ликвидации пожаров не позволяют получить информацию о распространении газов на всем протяжении горной выработки ввиду точечного отбора и анализа проб шахтного воздуха.

Штольня представляет собой проветриваемую горизонтальную выработку, длиной 181 м и сечением 4,2 м², с наклонным выходом на поверхность и диффузором, вентиляторной установкой, насосной камерой с водосборником, электрораспределительным пунктом и помещением для измерительной аппаратуры.

При проведении экспериментальных исследований в штольне устанавливались деревянные неполные крепежные рамы (состоящие из верхняка и двух стоек), боковые стенки и кровля выработки затягивались обаполами. Для загорания крепи поджигали сложенные в начале выработки костры. Всего было проведено 10 экспериментов. Температура пожарных газов изменялась с течением времени и определялась по показаниям термопар, установленным в 23 замерных станциях по длине штольни с шагом установки – 5...10 м, а также по высоте штольни в трех точках (у кровли, у почвы, в центре). Изменение концентраций газов при пожаре с течением времени исследовалось путем дистанционного отбора проб воздуха по трубопроводам, установленным на девяти замерных станциях по длине штольни, и дальнейшего их газового анализа.

Результаты экспериментов обработаны в программе Microsoft Excel. Установлены зависимости распределения температуры и концентраций пожарных газов, которые позволяют определять характер и кинетику их распространения по выработке. Сравнение результатов измерений средней температуры в выработке при наличии очага пожара с результатами теоретического расчета осуществлялось по формулам, аналогичным выражению (3), приняв вместо концентрации $C(x,t)$ – температуру $T(x,t)$, поскольку (6) и (7) описывают стационарное распределение температуры по длине выработки. Кинетика теплопереноса была проанализирована численно при использовании точного решения уравнения температуропроводности (3).

Для удобства сравнения результаты экспериментальных исследований (зависимости) и результаты расчета (маркеры ●, ▲, ■) представлены в виде профилей распределения температуры пожарных газов по длине выработки на рисунке 6.



1 – через 1 ч с момента возгорания;
2 – через 2 ч; 3 – через 3 ч

Рисунок 6 – Динамика температуры пожарных газов по длине выработки

Как видно из рисунка 6, полученные расчетным методом результаты аналогичны экспериментальным данным распределения температуры пожарных газов по длине штольни.

Выполнено усреднение данных восьми экспериментальных исследований распространения пожарных газов на различных расстояниях по длине выработки от очага пожара. В результате относительная погрешность измерений не превышает 14 %. Выполнен теоретический расчет динамики концентраций пожарных газов по длине выработки. Обработка экспериментальных данных и расчет выполнены для каждого из пожарных газов. На рисунках 7 и 8 представлены результаты измерений и теоретического расчета распространения пожарных газов по длине выработки после начала возгорания, которые аналогичны.

В результате анализа данных экспериментальных исследований было установлено, что повышение концентраций всех газов в объеме выработки при наличии очага пожара (за исключением кислорода) происходит практически с одинаковой скоростью. Наибольших значений достигают максимальные концентрации оксида и диоксида углерода, при этом максимальная концентрация диоксида углерода (15...20 %) более чем в шесть раз превосходит концентрацию водорода и метана, и более чем в три раза превосходит концентрацию оксида углерода. Кроме того, зона высокой (сравнимой с максимальной) концентрации оксида углерода в два раза меньше, чем соответствующая зона для диоксида углерода.

Результаты теоретического расчета в целом совпадают с данными, полученными при выполнении экспериментов. Расхождения находятся в пределах относительной погрешности и обусловлены зависимостью результатов измерений концентраций газов от условий проведения эксперимента, которые сложно воспроизвести идентично. На результаты измерений в каждом конкретном эксперименте оказывают влияние такие условия, как температура, скорость и направление воздуха, и др. Поэтому наблюдаемые расхождения вполне объяснимы и не снижают возможности определения скорости распространения пожарных газов при возникновении пожара в выработке.

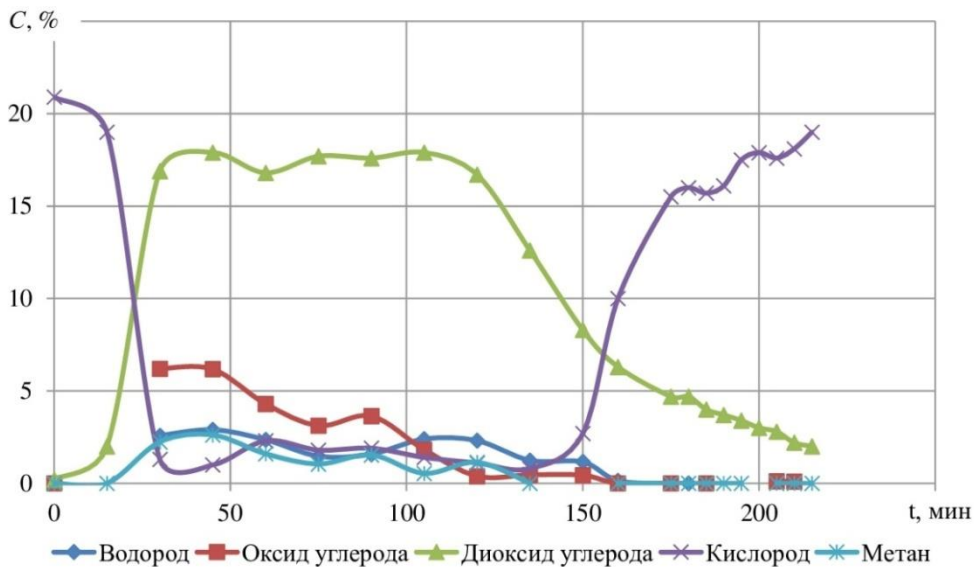
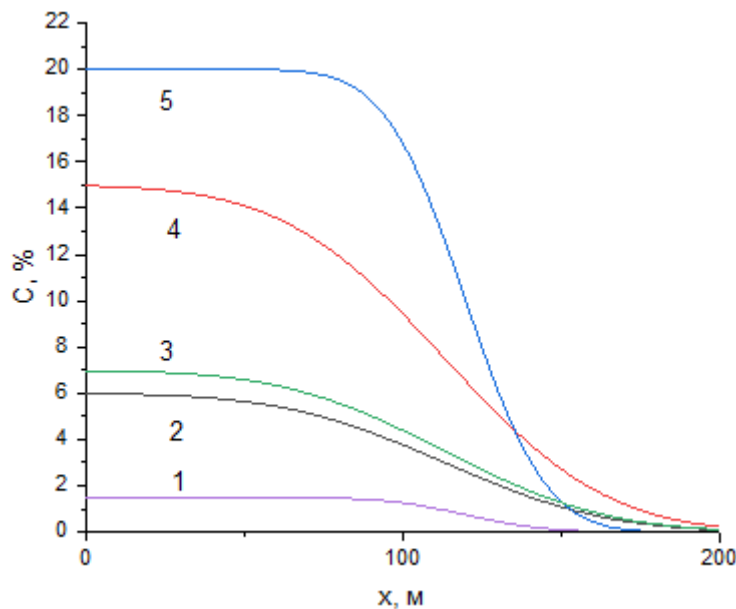


Рисунок 7 –
Зависимости
концентраций газов
от времени
на расстоянии 80 м
от очага пожара
при проведении
эксперименталь-
ных исследований
(эксперимент № 2
из 10-ти)



1 – метан, 2 – водород,
3 – оксид углерода,
4 – диоксид углерода,
5 – кислород

Рисунок 8 –
Распространение
пожарных газов
по длине
выработки через
3 ч после начала
возгорания
древесины

Экспериментальные исследования в условиях подземного полигона проведены для определения достоверности контроля газовой обстановки путем дистанционного отбора и анализа проб шахтного воздуха с использованием УСДОП и установления особенностей точечного отбора проб у кровли аварийной горной выработки.

Подземный полигон представляет сеть «условных» выработок (уклон, ходок, конвейерный и вентиляционный штреки, очистной забой, водоотливная камера и другие), сечением от 3,7 до 7,5 м², общей протяженностью 614 м и максимальной глубиной заложения 85 м, с двумя выходами на поверхность через вертикальный и наклонный стволы. Проветривание полигона осуществляется за счет естественной тяги, а также с использованием осевого вентилятора ВОКД-1,5 и вентилятора местного проветривания ВМ-6.

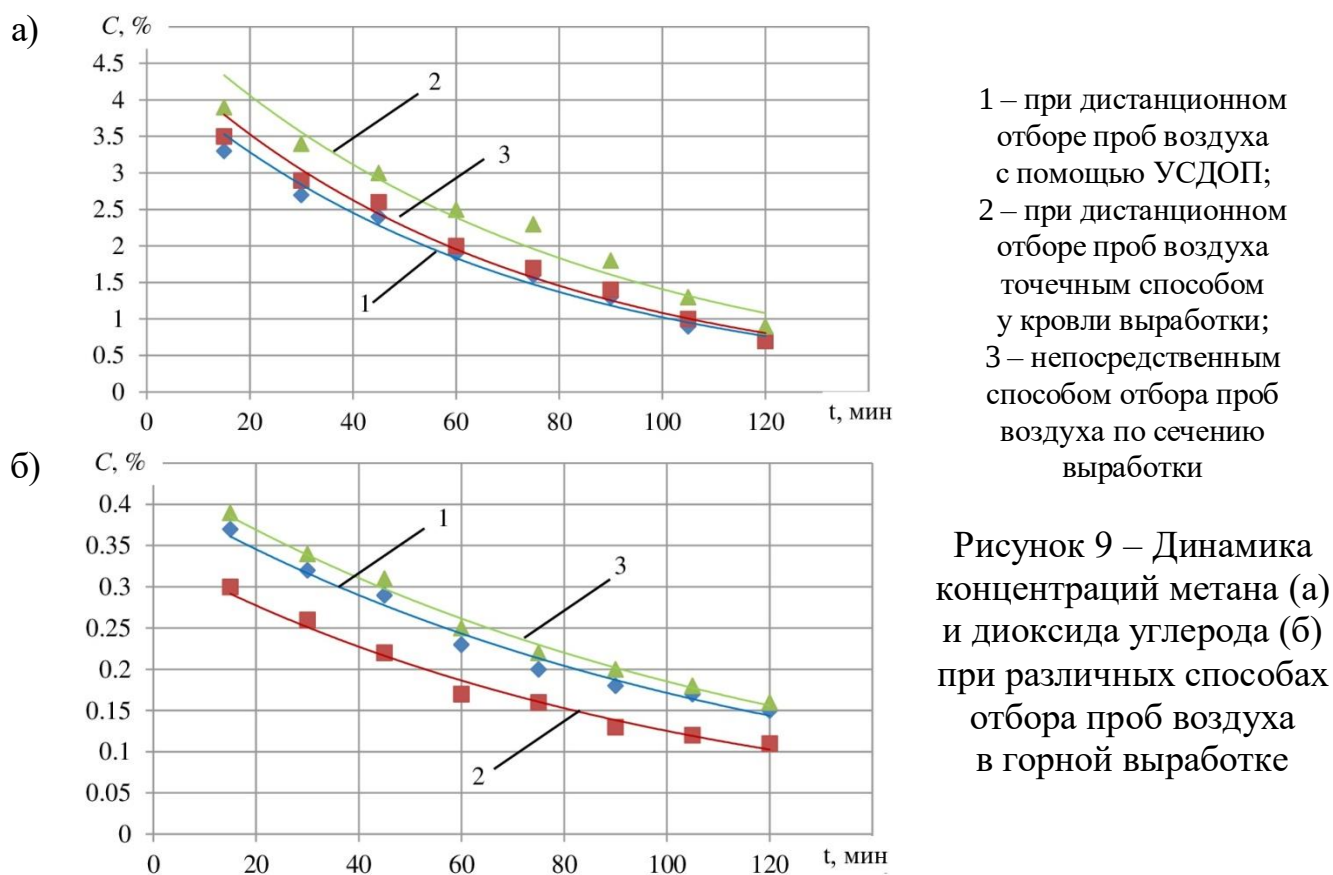
Для экспериментальных исследований в условиях горных выработок были смонтированы две системы дистанционного контроля газовой обстановки (многоточечного УСДОП и точечного отбора проб), трубопроводы которых проложены из тупикового забоя по штреку, уклону и выведены через наклонный ствол на поверхность. Общая длина каждого трубопровода составила 1000 м.

С учетом длительного периода эксплуатации, небольшой массы, высокой прочности, низкой газопроницаемости, удобства монтажа и др., в качестве пробоотборного обосновано выбран трубопровод из полиэтилена с наружным номинальным диаметром 16 мм и толщиной стенки 2 мм. Для герметичного соединения бухт трубопровода использовались компрессионные фитинги.

После монтажа и проверки двух магистралей дистанционного отбора проб в тупиковом забое из резиновых камер был осуществлен выпуск газовой смеси, содержащей метан, диоксид углерода и кислород. Через 5 мин после выпуска газовой смеси в течение 2 ч с интервалом – 15 мин был одновременно проведен отбор проб воздуха дистанционным способом с использованием УСДОП и в одной точке у стенки выработки на уровне 2/3 ее высоты, а также непосредственным способом по сечению выработки в тупиковом забое с помощью ручного насоса (груши резиновой). Анализ отобранных проб оперативно выполняли экспресс-методом с помощью газоанализаторов М-02 и в лаборатории на газоаналитических приборах «ООГ-2» и «СИГМА-СО-МИКРО».

Сравнительные результаты газового анализа проб лабораторным и экспресс-методами показали незначительную разницу (в пределах допустимой погрешности приборов), поэтому для оперативного анализа проб воздуха непосредственно в шахтах целесообразно использовать современные портативные газоанализаторы типа М-02 и их аналоги. Это позволяет значительно сократить время газового анализа по сравнению с выполняемым в лаборатории на поверхности.

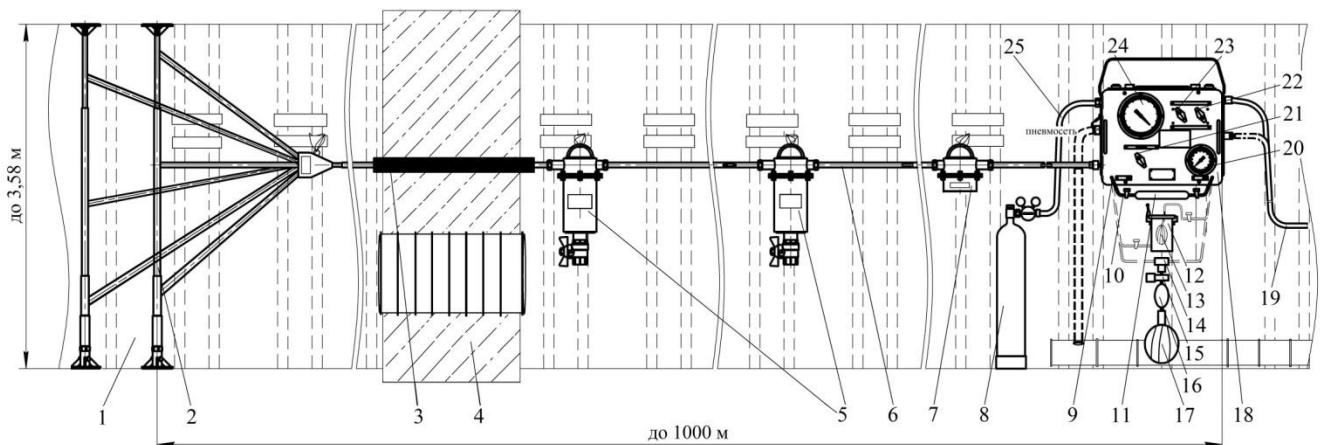
Результаты газового анализа проб, отобранных непосредственным и дистанционными способами в загазованной выработке подземного полигона при проведении экспериментальных исследований, представлены на рисунке 9.



При анализе результатов исследований было отмечено, что УСДОП позволяет повысить достоверность контроля газовой обстановки в аварийной выработке по сравнению с точечным отбором проб по трубопроводу дистанционным способом. Разница в показаниях между непосредственным способом газового контроля и дистанционным при использовании УСДОП не превышает 12 %.

По результатам исследований установлено, что при точечном отборе проб пожарных газов дистанционным способом у кровли загазованной выработки в ходе анализа наблюдаются заниженные показания концентраций тяжелых газов (например, диоксида углерода) с относительной погрешностью 54 % по сравнению с данными непосредственного контроля. Очевидно, концентрации оксида углерода при пожарах тоже занижены в случае точечного отбора проб.

Четвертый раздел посвящен разработке и внедрению системы УСДОП, которая позволяет осуществлять дистанционный отбор проб воздуха по сечению выработок аварийного участка, имеет в комплекте фильтрующие элементы для снижения скапливания влаги (конденсата) в пробоотборном трубопроводе и осушения откачиваемого воздуха перед попаданием в газоаналитический прибор для экспресс-анализа проб в шахте или в емкость для отбора проб с помощью специального приспособления. По результатам проведения предварительных и приемочных испытаний определены конструктивные особенности УСДОП (рисунок 10), основные технические характеристики которой приведены в таблице.



1 – изолированное пространство аварийного участка (горной выработки); 2 – многоточечный пробоотборник; 3 – металлическая труба, монтируемая в изолирующее сооружение при его возведении; 4 – изолирующее сооружение (в случае изоляции участка или выработки); 5 – фильтры-влажнотделители (основной и дополнительный); 6 – пробоотборный трубопровод; 7 – фильтр-осушитель; 8 – баллон (с редуктором) со сжатым воздухом; 9 – штуцеры «Проба»; 10 – соединительные трубки с зажимами Мора; 11 – бюретка; 12 – буферный резервуар для набора пробы шахтного воздуха в камеру; 13, 17 – камеры для отбора проб шахтного воздуха; 14 – Т-образный соединительный тройник; 15 – кран шаровый; 16 – груша резиновая от шахтного интерферометра типа ШИ; 18 – установка эжекторная УЭ-1М; 19 – отводной трубопровод для сброса воздуха в окружающую среду; 20 – манометр; 21, 22, 23 – краны выбора режимов работы и питания; 24 – вакуумметр; 25 – трубопровод соединительный

Рисунок 10 – Общий вид УСДОП

Принцип работы разработанной системы состоит в том, что шахтный воздух, отбираемый многоточечным пробоотборником в горной выработке,

откачивается по трубопроводу на безопасное расстояние от аварийного участка под действием разрежения, создаваемого побудителем расхода, и через отводной трубопровод сбрасывается в окружающую среду. С помощью специальных приспособлений УСДОП позволяет осуществлять набор проб в бюретки и камеры, а также экспресс-анализ проб воздуха непосредственно в шахте, применяя переносные многоканальные газоанализаторы со специальными пробозаборными насадками и адаптерами. После газового анализа проб для оперативного расчета треугольника взрываемости смеси горючих газов рекомендовано использование специализированного программного обеспечения.

Основные технические характеристики УСДОП

Наименование показателя	Значение показателя
1 Питание установки эжекторной УЭ-1М ¹⁾ сжатым воздухом от: – баллона с редуцированным давлением, кПа – пневмосети с давлением, кПа	1500 ± 100 400 ± 100
2 Максимальная дальность ²⁾ отбора проб воздуха, м	1000
3 Время откачивания ²⁾ пробы воздуха при длине трубопровода 1000 м с наружным номинальным диаметром 16 мм, мин, не менее	15
4 Время набора пробы в бюретку или камеру, мин, не более	2,5
5 Время непрерывной работы от баллона со сжатым воздухом, емкостью 40 л, ч, не менее	8
¹⁾ Питание установки эжекторной УЭ-1М может осуществляться от другого побудителя расхода (например, от вакуумного насоса с пневматическим или электрическим двигателем во взрывобезопасном исполнении). Также вакуумный насос может быть использован в качестве побудителя расхода вместо установки эжекторной УЭ-1М. ²⁾ Указана максимальная дальность отбора проб воздуха при питании установки эжекторной УЭ-1М сжатым воздухом. При использовании высокопроизводительного вакуумного насоса максимальная дальность отбора проб воздуха может быть увеличена (до 2000...3000 м), а время откачивания проб воздуха – сокращено (в 2...3 раза).	

Предложены способы дистанционного контроля газовой обстановки по сечению загазованной выработки, оценки максимальных концентраций газов по высоте выработки, а также дистанционного отбора проб из нескольких выработок или секционного отбора проб по длине одной протяженной выработки.

Результаты предварительных и приемочных испытаний системы УСДОП подтвердили ее работоспособность и эффективность за счет повышения достоверности и оперативности дистанционного контроля газовой обстановки. Изделие внедрено в эксплуатацию горноспасательного подразделения МЧС ДНР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании установления закономерностей распространения пожарных газов по сечению и длине выработок, совершенствования системы дистанционного отбора и анализа проб воздуха дано решение актуальной научно-технической задачи по повышению эффективности дистанционного контроля газовой обстановки при ведении аварийно-спасательных работ в шахтах.

Основные выводы, научные и практические результаты выполненной диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Анализ аварийности в шахтах показал, что большую опасность представляют пожары, взрывы газа и угольной пыли, при ликвидации последствий которых подразделения горноспасательной службы должны применять дистанционный контроль газовой обстановки аварийных участков. Это является одним из главных условий эффективного и безопасного ведения аварийно-спасательных работ.

2. Установлено, что факторами, влияющими на снижение эффективности дистанционного отбора и анализа проб воздуха с целью контроля газовой обстановки аварийных участков и отдельных выработок шахт, являются: точечный отбор и отсутствие оперативности анализа проб воздуха, разбавление отбираемой газозоудшной смеси воздухом вследствие нарушения герметичности трубопроводов, скапливание влаги в результате провисаний магистралей и др.

3. Установлены зависимости скорости распространения пожарных газов для стационарных и нестационарных процессов теплообмена в зависимости от условий проветривания с учетом геометрических размеров выработки, коэффициентов тепло- и массопереноса в условиях пожара, которые отличаются от известных возможностью определять динамику пожарных газов от очага пожара до места установки пробоотборного устройства системы дистанционного отбора и анализа проб шахтного воздуха. Это позволило повысить эффективность дистанционного контроля газовой обстановки в аварийных горных выработках.

4. Разработана математическая модель процесса формирования и определения мест слоевых скоплений метана с учетом совокупного влияния горнотехнических параметров, характеризующих геометрические размеры горной выработки, условия проветривания, дебит метана, наличие источников газовыделения. Это позволило повысить достоверность контроля газовой обстановки при слоевых скоплениях метана в аварийных горных выработках.

5. Разработана техническая документация на систему УСДОП с принципиально новым дистанционным способом многоточечного отбора проб воздуха по сечению горных выработок шахты, прокачивания газозоудшной смеси по магистрали с фильтрующими элементами и экспресс-анализа проб непосредственно в шахте на безопасном расстоянии от аварийного участка.

6. Изготовлена, испытана и внедрена в эксплуатацию горноспасательного подразделения МЧС ДНР система УСДОП, позволяющая повысить эффективность дистанционного контроля газовой обстановки при ликвидации аварий в шахтах путем оперативного и достоверного определения концентраций газов на безопасном расстоянии от аварийного участка. Годовой экономический эффект от внедрения УСДОП составляет около 918 тыс. руб.

7. Перспективные направления дальнейшей работы предполагают разработку двух- или трехмерных моделей тепло- и массопереноса по выработкам при пожарах, автономных комплексных систем дистанционного отбора и анализа проб шахтного воздуха, исследование возможности оценки максимальных концентраций газов по сечению выработки с использованием одной протяженной магистрали трубопровода.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях ВАК при Минобрнауки ДНР:

1. Мамаев, В. В. Способ дистанционного отбора и анализа проб шахтного воздуха / В. В. Мамаев, А. М. Симонов, **А. В. Агарков** // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : науч.-техн. журн. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2020. – № 2 (57). – С. 36-47.

2. **Агарков, А. В.** Прогноз газовой обстановки вдоль горных выработок при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах / А. В. Агарков // Вестник Академии гражданской защиты : науч. журн. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2020. – № 3 (23). – С. 48-56.

3. Мамаев, В. В. Система дистанционного отбора проб шахтного воздуха при ведении аварийно-спасательных работ / В. В. Мамаев, А. М. Симонов, **А. В. Агарков**, В. Г. Турчанин // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : науч.-техн. журн. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2020. – № 3 (57). – С. 54-63.

4. **Агарков, А. В.** Опасность слоевых скоплений легких и тяжелых газов в горных выработках угольных шахт при ведении аварийно-спасательных работ / А. В. Агарков // Вестник Академии гражданской защиты : науч. журн. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2021. – № 1 (25). – С. 54-61.

5. Мамаев, В. В. Системы дистанционного контроля газовой обстановки при ликвидации пожаров в шахтах / В. В. Мамаев, А. М. Симонов, **А. В. Агарков** // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : науч.-техн. журн. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2021. – № 2 (58). – С. 90-99.

6. **Агарков, А. В.** Исследование эффективности применения трубопроводов малого диаметра для дистанционного отбора проб пожарных газов при ведении аварийно-спасательных работ в шахтах / А. В. Агарков // Вестник Академии гражданской защиты : науч. журн. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2021. – № 2 (26). – С. 41-50.

7. Симонов, А. М. Экспериментальные исследования дистанционного контроля шахтной среды в условиях штольни и подземного полигона / А. М. Симонов, **А. В. Агарков** // Вестник Академии гражданской защиты : науч. журн. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2021. – № 2 (26). – С. 74-83.

Публикации в рецензируемых научных изданиях ВАК при Минобрнауки России:

8. Мамаев, В. В. Многоточечный пробоотборник пожарных газов при ведении аварийно-спасательных работ на горнодобывающих предприятиях / В. В. Мамаев, **А. В. Агарков** // Проблемы управления рисками в техносфере : науч.-аналит. журн. – Санкт-Петербург : ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России», 2020. – № 3 (55). – С. 35-40.

9. **Агарков, А. В.** Исследование температурного поля в горной выработке в окрестности очага пожара при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах / А. В. Агарков // Сибирский пожарно-спасательный вестник : науч.-аналит. журн. – Железногорск : ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», 2020. – № 3 (18). – С. 33-37.

10. Мамаев, В. В. Испытания усовершенствованной системы дистанционного отбора проб пожарных газов в условиях лаборатории и подземного полигона /

В. В. Мамаев, **А. В. Агарков** // Проблемы управления рисками в техносфере : науч.-аналит. журн. – Санкт-Петербург : ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России», 2020. – № 4 (56). – С. 31-39.

11. **Агарков, А. В.** Параметры усовершенствованной системы дистанционного контроля газовой обстановки при ликвидации пожаров в угольных шахтах / А. В. Агарков // Сибирский пожарно-спасательный вестник : науч.-аналит. журн. – Железногорск : ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», 2021. – № 1 (20). – С. 26-33.

Публикации в сборниках материалов научных конференций, входящих в наукометрическую базу РИНЦ:

12. **Агарков, А. В.** Об аварийности в угольных шахтах и применении системы дистанционного контроля состава шахтной среды при проведении горноспасательных работ / А. В. Агарков // Инновационные технологии разработки месторождений полезных ископаемых : сб. науч. тр. по мат. междунар. науч.-практ. конф. – Донецк : ГОУВПО «ДОННТУ», 2019. – № 5. – С. 294-313.

13. Мамаев, В. В. Способы и технические средства дистанционного контроля шахтной среды при ведении аварийно-спасательных работ / В. В. Мамаев, **А. В. Агарков** // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования : науч. журн. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2019. – № 3 (4). – С. 109-119.

14. **Agarkov, A.** Analysis of foreign scientific works on development of technical means for remote gas sampling in coal mines / A. Agarkov // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования : науч. журн. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2020. – № 1 (5). – С. 18-25.

15. **Агарков, А. В.** Выбор трубопровода для дистанционного отбора газовых проб при ведении горноспасательных работ / А. В. Агарков // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования : науч. журн. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2020. – № 1 (5). – С. 33-39.

16. **Агарков, А. В.** Об исходных требованиях к усовершенствованной системе дистанционного отбора проб шахтного воздуха при ведении аварийно-спасательных работ / А. В. Агарков // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования : науч. журн. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2020. – № 2 (6). – С. 15-23.

17. Гусар, Г. А. Совершенствование техники и технологии дистанционного отбора и экспресс-анализа проб пожарных газов при ведении горноспасательных работ в угольных шахтах / Г. А. Гусар, **А. В. Агарков**, В. Г. Турчанин // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования : науч. журн. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2020. – № 3 (7). – С. 126-134.

18. Мамаев, В. В. Совершенствование способа дистанционного мониторинга и контроля газовой обстановки при авариях в угольных шахтах / В. В. Мамаев, **А. В. Агарков** // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр : сб. 4-й конф. междунар. науч. шк. ак. РАН К.Н. Трубецкого. – Москва : ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения

недр имени академика Н.В. Мельникова» РАН, 2020. – С. 480-483.

19. Мамаев, В. В. Перспективы внедрения и модернизации оборудования для дистанционного контроля газовой обстановки при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах / В. В. Мамаев, **А. В. Агарков** // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования : науч. журн. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2021. – № 2 (9). – С. 218-224.

20. **Агарков, А. В.** Исследование поля концентраций газов в окрестности очага пожара угольной шахты / А. В. Агарков // Проблемы горного дела : сб. науч. тр. II Междунар. Форума студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков. – Донецк : ГОУВПО «ДОННТУ», 2021. – С. 235-239.

21. **Агарков, А. В.** Повышение достоверности и эффективности дистанционного контроля газовой обстановки при ликвидации пожаров и других аварий в шахтах / А. В. Агарков // Донбасс будущего глазами молодых ученых : сб. матер. науч.-техн. конф. – Донецк : ГОУВПО «ДОННТУ», 2021. – С. 58-63.

22. **Агарков, А. В.** Оперативная оценка вероятности взрыва газозооушной смеси при ликвидации пожаров в угольных шахтах / А. В. Агарков // Глобальные вызовы XXI века и окружающая среда : сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Алматы : НАО «Казахский национальный университет им. аль-Фараби», 2021. – С. 350-354.

23. **Agarkov, A.** Connection of the gas pipeline sections for remote sampling during the elimination of fires in mines / A. Agarkov // Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре и взрыве : сб. матер. VIII Междунар. заоч. науч.-практ. конф. – Минск : ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь», 2022. – С. 142-144.

24. **Agarkov, A.** Investigation of the temperature field in a mine working in the vicinity neighboring a seat of fire / A. Agarkov // Математическое моделирование в образовании, науке и производстве : матер. XII Междунар. конф. – Тирасполь : ГОУ «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко», 2022. – С. 152-156.

Учебно-методическая работа:

25. Курбацкий, Е.В. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело» / Е. В. Курбацкий, **А. В. Агарков**, В. В. Мельникова. – Донецк : ГОУВПО «ДОННТУ», 2020. – 83 с.

АННОТАЦИЯ

Агарков Александр Владиславович. Повышение эффективности дистанционного контроля газовой обстановки при ведении аварийно-спасательных работ в шахтах. – 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, 2022.

Проведены теоретические исследования распределения пожарных газов по сечению и длине горных выработок при авариях, выполнено сравнение результатов экспериментальных исследований по дистанционному контролю газовой обстановки в условиях штольни с теоретическими данными. Разработана, испытана на лабораторной базе и в условиях подземного полигона, а также внедрена в эксплуатацию горноспасательного подразделения усовершенствованная система дистанционного отбора проб воздуха при ведении аварийно-спасательных работ.

Ключевые слова: шахта, аварийно-спасательные работы, газовая обстановка, дистанционный контроль, повышение эффективности.

ABSTRACT

Agarkov Aleksandr Vladislavovich. **Improvement of the efficiency of remote monitoring of the gas situation during emergency rescue operations in mines.** – As a manuscript.

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, 2022.

The theoretical studies of fire gases distribution along the cross section and length of mine workings in case of accidents have been conducted, the results of the experimental investigations of the remote monitoring of the gas situation in the conditions of the adit have been compared with the theoretical data. The improved system for the remote air sampling during conduction of emergency rescue operations has been developed, tested on the laboratory base and in the conditions of the underground training ground, and it has been also put into operation by the mine rescue unit.

Keywords: mine, emergency rescue operations, gas situation, remote monitoring, efficiency improvement.

Подписано к печати 20.09.2022 г. Формат 60x84x1/16.

Усл. печ. л. 1,0. Печать – лазерная.

Заказ № 09-28. Тираж 100 экз.

Отпечатано ФЛП Кириенко С.Г. Свидетельство о государственной регистрации
физического лица-предпринимателя № 40160 серия АА02 от 05.12.2014 г.

ДНР, 283014, г. Донецк, пр. Дзержинского, 55/105.

Тел.: +7(949)524-50-36, e-mail: ksg5036@mail.ru