

XII МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

XII Международная научно-практическая конференция

Инновационные перспективы Донбасса

XII Международная научно-практическая конференция
Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса



XVII Международная научно-техническая конференция
Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование



XXVI Международная научно-техническая конференция
Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых



I Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых и студентов
Инженерные технологии XXI столетия глазами молодых

Том 1. Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДНР
КОМИТЕТ ПО НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИЯМ ДНР
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ ДНР
МИНИСТЕРСТВО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ДНР

ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ ДонНТУ (г. Горловка)
ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им.
М.ГОРЬКОГО
ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
НИЦ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПАРТНЕРСТВА ГОСУДАРСТВА И БИЗНЕСА
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ СОЮЗ РАБОТНИКОВ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДНР
ДОНЕЦКИЙ БОТАНИЧЕСКИЙ САД
СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ДонНТУ
ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНСТИТУТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ДОНГИПРОШАХТ
ДОНЕЦКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА
МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО
БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ИННОВАЦИОННЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ДОНБАССА

**Материалы 12-й Всероссийской научно-
практической конференции
Том 1. Проблемы и перспективы в горном деле и
строительстве.**

**г. Донецк
26-28 мая 2026 года**



Донецк – 2026

ББК 65.30

УДК 330.341 (477.61/62)

И
66
Инновационные перспективы Донбасса, г. Донецк, 26-28 мая 2026 г. –
Донецк: ДонНТУ, 2026.
Т. 1: 1. Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве. – 2026.
– 299 с.

Представлены материалы 12-й Всероссийской научно-практической конференции - Инновационные перспективы Донбасса, состоявшейся 26-28 мая 2026 г. г. в Донецке на базе ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», включающие доклады ученых и специалистов по вопросам приоритетных направлений научно-технического обеспечения инновационного развития Донбасса и формирования механизмов повышения развития горнодобывающей промышленности и строительства региона.

Материалы предназначены для специалистов народного хозяйства, ученых, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Редакционная коллегия

Ректор ДонНТУ А.Я. Аноприенко, ректор ДонГТУ Д.А. Вишневский, директор АНО «НИЦ стратегического партнерства государства и бизнеса» О.Ф. Шахов, канд. техн. наук А.Н. Корчевский, канд. техн. наук О.Л. Кизияров, канд. техн. наук А.А. Булгаков, канд. техн. наук Д.И. Морозов, д-р техн. наук С. П. Еронько, канд. техн. наук А.М. Зинченко, канд. техн. наук С.В. Горбатко, канд. фарм. наук В.С. Федорова, канд. техн. наук А.А. Кравченко, д-р экон. наук Я.В. Хоменко, рег. представ. Студ. комит. И.А. Хоменко, канд. техн. наук И.В. Филатова, канд. техн. наук Д.В. Пронский, канд. техн. наук Р.В. Мальчева, докт. экон. наук Е.Е. Бизянов, председатель Совета молодых ученых ДонНТУ М.П. Руденко.

Под общей редакцией Захаровой Виктории Владимировны

Контактный адрес редакции

УНИ ДонНТУ, ул. Артема, 58, Донецк, 283001

Тел.: +7 (856) 305-35-67. Эл. почта: ipd.donntu@yandex.ru

Интернет: <http://ipd.donntu.ru>

© ФГБОУ ВО —Донецкий национальный технический университет¹
Министерство образования и науки ДНР, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Агарков А.В., Политучий Д.А., Балта Д.Ф., Тишина С. Р.</i> О Совершенствовании конструкции и результатах испытаний переносного воздушно-пенного шахтного огнетушителя.....	10
<i>Агарков А.В., Политучий Д.А., Буряк Д.С., Лысенко О.Н., Цимбалист И.В.</i> О тушении пожаров экзогенного и эндогенного происхождения в угольных шахтах при использовании альтернативного источника водоснабжения.....	15
<i>Агарков А.В., Тишин Р.А., Заремба Н.С., Литвяков А.В.</i> Оценка газовой обстановки на горных отводах шахт, в зданиях и сооружениях	20
<i>Бачинин Ю.С., Донцов Н.В., Демидов Д.В.</i> Модели календарного планирования строительного производства для автодорожных мостов	25
<i>Вержбовский Г.Б., Залиев А.В.</i> Повторное использование строительного боя в композитных материалах и их характеристики	29
<i>Власов А.С., Белов Е.М.</i> Использование шахтных вод как геотермального ресурса для теплоснабжения городов (на примере Донбасса).....	34
<i>Ефименко В.Л., Кирьян А.П., Агарков А.В., Чухарев Д.А.</i> Научно-технический анализ устройств пожаротушения на поверхностных и подземных объектах с дискретным и газодинамическим принципами распыления жидкости.....	38
<i>Захарова В.В., Агарков А.В., Всякий А.А., Петрова Е.М.</i> Принципиальная схема усовершенствованной системы дистанционного отбора и последующего анализа проб	

пожарных газов в горных выработках аварийных участков угольных шахт.....	43
<i>Захарова В.В., Агарков А.В., Чован А.Н., Шангареев Т.А.</i> Прогноз изменения температуры в горных выработках шахт по концентрациям газов при экзогенных пожарах	49
<i>Захарова В.В., Мавроди А.В., Агарков А.В., Бутко Д.А.</i> Особенности ведения аварийно-спасательных работ в необслуживаемых горных выработках малых угледобывающих предприятий, имеющих выходы на земную поверхность.....	54
<i>Зозуля Я.Д., Петренко Ю. А., Касьяненко А.Л.</i> Прогноз выдавливания пород почвы на основе горно-геологических факторов с использованием машинного обучения	59
<i>Кавера А.Л., Агарков А.В., Тишин Р.А., Тишин Д.Р.</i> Проветривание горных выработок аварийных участков угольных шахт при внезапных выбросах угля, породы или газа	63
<i>Кавера А.Л., Агарков А.В., Горбачева Е.И., Жогло М.К.</i> Применение метода графов при ведении депрессионных съемок в угольных шахтах	68
<i>Кавера А.Л., Агарков А.В., Николаев Е.Б., Захаров Н.С.</i> Проветривание горных выработок малых угледобывающих предприятий при ведении аварийно-спасательных работ подразделениями горноспасательной службы	74
<i>Калякин С.А., Лабинский К.Н., Купенко И.В., Барсук Н.Д., Макшеев А.Н., Пирогов С.О.</i> К вопросу о выборе эффективного ингибитора реакций воспламенения смесей горючих газов, воздуха и угольной пыли	80
<i>Касьяненко Д. Л., Клочко И. И., Петренко Ю.А.</i> Исследование	

влияния условий инициирования зарядов ВВ с использованием ANSYS Explicit Dynamics	88
<i>Каткова Е.Р., Балашов В.С.</i> Повышение надежности системы карьерного водоотлива в условиях Крайнего Севера	92
<i>Кирьян А.П., Агарков А.В., Плетенецкий Р.С., Иваненко А.С., Подзывалов А.Ю.</i> О разработке изолирующего дыхательного аппарата - респиратора с оптимальным количеством кислорода во вдыхаемой газовой смеси	97
Коврижкин О.И., Агарков А.В. О моделировании тепломассообменных процессов при экзогенном пожаре в тупиковой выработке шахты	102
<i>Кременев О.Г., Деменков А.И.</i> О структуре комбинированного теплового изоляционного покрытия трубопроводов на поверхности угольных шахт	107
<i>Курбацкий Е.В., Агарков А.В., Радионенко В.Н., Вережак Д.Д.</i> Параметры беспилотного летательного аппарата для разведки горных выработок аварийных участков угольных шахт дистанционным способом при ведении горноспасательных работ.....	112
<i>Курбацкий Е.В., Мавроди А.В., Агарков А.В., Тасынич А.В.</i> Спасательные камеры в горных выработках шахт	118
<i>Курбацкий Е.В., Осадчий А.В., Агарков А.В., Редькина В.Д.</i> Автономная установка для сушки пожарных напорных рукавов подразделений горноспасательной службы	122
<i>Леженин А.И.</i> Конструкционные особенности смесителей малопогружной эрлифтной установки	127
<i>Мазур В.А., Черненко М.А., Куценко Т.Н.</i> Численное	

исследование параметров воздухообмена в плоскости вентиляционных отверстий бескаркасных сводчатых покрытий.....	131
<i>Москвина И.И., Агарков А.В., Руденко Д.В., Борисов Я.В.</i> Эффективные способы дистанционного контроля газовой обстановки в горных выработках аварийных пожарных участков шахт при ведении горноспасательных работ.....	137
<i>Москвина И.И., Агарков А.В., Радионенко В.Н., Вережак Д.Д., Шадрина М.Г.</i> Экспериментальные исследования тепломассообменных процессов в горной выработке - штольне при экзогенном пожаре.....	143
<i>Москвина И.И., Агарков А.В., Всякий А.А., Чернышева О.В.</i> Оптимизация штатной численности работников военизированной горноспасательной части Донецкой Народной Республики	148
<i>Николаев Е.Б.</i> Комплексный метод регулирования теплового режима глубоких шахт	153
<i>Николаев Е.Б., Агарков А.В., Ефименко В.Л., Коробов А.П.</i> Процессы массопереноса в горной выработке шахты при пожаре экзогенного происхождения	158
<i>Николаев Е.Б., Кавера А.Л., Агарков А.В., Трегубенко В.Е.</i> О слоевых скоплениях метана в горных выработках шахт	162
<i>Новиков А.О.</i> Исследования деформирования водонасыщаемых осадочных горных пород в процессе техногенных воздействий.	168
<i>Подвигин К.А., Богодаева У.Н.</i> Анализ практики организации безопасного проведения ремонтных работ на опасных производственных объектах	172

<i>Подвигин К.А., Пыжова Е.А.</i> Анализ практики учета и расследования микротравм на предприятии.....	178
<i>Подвигин К.А., Юмалова Е.Э.</i> Гармонизация требований промышленной безопасности и охраны труда при обращении с опасными веществами на промышленном предприятии	182
<i>Радченко А.Г., Репина К.В., Федосова Н.С., Радченко А.А.</i> Сравнительная оценка выбросоопасности угольных пластов главной антиклинали в центральном районе Донбасса.....	187
<i>Радченко А.Г., Салий С.Г., Петрова А.А., Радченко А.А.</i> Особенности проявления выбросоопасности угольных пластов в центральном геолого-промышленном районе Донбасса.....	192
<i>Радченко А.Г., Салий С.Г., Федосова Н.С., Радченко А.А.</i> Минимальные глубины проявления внезапных выбросов угля и газа на шахтах г. Донецка и центрального района Донбасса.....	198
<i>Радченко А.Г., Салий С.Г., Федосова Н.С., Радченко А.А.</i> Статистический анализ проявления выбросоопасности угольных пластов в центральном районе Донбасса.....	204
<i>Радченко А.Г., Салий С.Г., Ялпуга Е.А., Радченко А.А.</i> Изменение интенсивности внезапных выбросов угля и газа в центральном районе Донбасса.....	208
<i>Радченко А.Г., Ялпуга Е.А., Радченко А.А.</i> Минимальные глубины проявления внезапных выбросов угля и газа на шахтах северного крыла главной антиклинали ЦРД	215
<i>Салыхов И.Р., Цой Д.В., Демидов Д.В.</i> О возможности использования БПЛА при оценке потребительских свойств объектов транспортной инфраструктуры.....	221
<i>Самойлик В.Г., Лунев Н.С.</i> Электроимпульсный способ	

разрушения материалов (ЭИ).....	225
<i>Самойлик В.Г., Онищенко А.С. Технология обогащения асбестовых руд.....</i>	<i>230</i>
<i>Самойлик В.Г., Чалый Л.Д. Особенности дезинтеграции полезных ископаемых в валковых дробилках высокого давления.....</i>	<i>237</i>
<i>Тепикин Н.В., Чудинов С.А. К вопросу возникновения резонансных явлений на мостовых сооружениях.....</i>	<i>242</i>
<i>Тишин Р.А., Агарков А.В., Зарубина Е.Ю., Веткина В.В. Контроль выделения вредных газов на земную поверхность....</i>	<i>246</i>
<i>Тохтамыш М.А., Скаженник В.Б. Геологическое моделирование месторождения флюсовых известняков с целью управления качеством добываемого сырья.....</i>	<i>251</i>
<i>Харлова Е.И., Кавера А.Л., Лихачева В.В. Современное состояние проблемы аэрологической безопасности в угольных шахтах.....</i>	<i>256</i>
<i>Харлова Е.И., Кавера А.Л., Мамаев В.В. Техногенное воздействие на окружающую среду при ликвидации угольных шахт.....</i>	<i>260</i>
<i>Харлова Е.И., Лихачева В.В., Дорошенко Л.В., Новиков М.В., Кавера А.Л. Исследование деформаций Земной поверхности, вызванных затоплением горных выработок шахт в стадии ликвидации.....</i>	<i>265</i>
<i>Цой Д.В., Салыхов И.Р., Демидов Д.В. О возможности использования БПЛА при оценке технического состояния мостов.....</i>	<i>271</i>

<i>Чимирис Д.С., Давыдова Л.Ю., Губарев Ф.А.</i> Практические аспекты визуализации горения твердых горючих веществ.....	275
<i>Шажко Я.В., Касьяненко А.Л., Соколов К.И., Борщ Т.В.</i> Усовершенствование шахтного десорбометра.....	280
<i>Щербак М.М.</i> 3D-печать бетоном: архитектура, алгоритмы, перспективы.....	286
<i>Яковенко Е.А., Тишин Р.А., Кавера А.Л., Шадрина М.Г., Коробов А.П.</i> Почвенный воздух в районе ликвидированных шахт.....	289
<i>Яковенко Е.А., Тишин Р.А., Кавера А.Л., Тишина С.Р., Коробов А.П.</i> Дегазация горных выработок при пожаре.....	294

УДК 614.845.5

**О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КОНСТРУКЦИИ
И РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЙ ПЕРЕНОСНОГО
ВОЗДУШНО-ПЕННОГО ШАХТНОГО ОГНЕТУШИТЕЛЯ**

А.В. Агарков^{1,2}, Д.А. Политучий¹, Д.Ф. Балта¹, С.Р. Тишина²

¹ ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

² ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Представлен усовершенствованный вариант конструкции переносного воздушно-пенного шахтного огнетушителя для тушения пожаров классов А и В, в котором предусмотрено раздельное хранение воды и пенообразователя, что позволит снизить эксплуатационные расходы при обеспечении противопожарной защиты подземного и поверхностного комплексов предприятий.

Annotation (Abstract). An improved design of a portable air-foam mine fire extinguisher for extinguishing class A and B fires is presented. It features separate storage of water and foaming agent, which will reduce operating costs when providing fire protection for underground and surface industrial complexes.

Ключевые слова: шахта; подземные пожары; переносные воздушно-пенные огнетушители; раздельное хранение воды и пенообразователя.

Keywords: mine; underground fires; portable air-foam fire extinguishers; separate storage of water and foam concentrate.

Наиболее распространенный, сложный и опасный вид подземных аварий – пожары, наносящие горнодобывающей отрасли большой материальный ущерб и сопровождающиеся максимальным риском для жизни и здоровья шахтеров и горноспасателей.

Для оперативной ликвидации возникающих очагов горения все подземные горные выработки и поверхностный комплекс обеспечивают огнетушащими средствами. Самые распространенные средства тушения пожаров в начальной стадии их возникновения – это переносные огнетушители, массой до 20 кг.

В настоящее время применяемые переносные воздушно-пенные огнетушители подлежат ежегодному техническому обслуживанию, включающему замену огнетушащего вещества [1]. На обслуживание

огнетушителей данного типа ежегодно затрачиваются значительные средства – в среднем 1000 руб. на каждый огнетушитель. Поэтому актуальным направлением исследований является совершенствование конструкции огнетушителя, что позволит снизить эксплуатационные расходы и получить финансово-экономический эффект, увеличив срок службы огнетушителей без технического обслуживания [2].

На основании проведенных исследований предлагается вариант конструкции огнетушителя с раздельным хранением воды и пенообразователя, представленный на рис. 1.

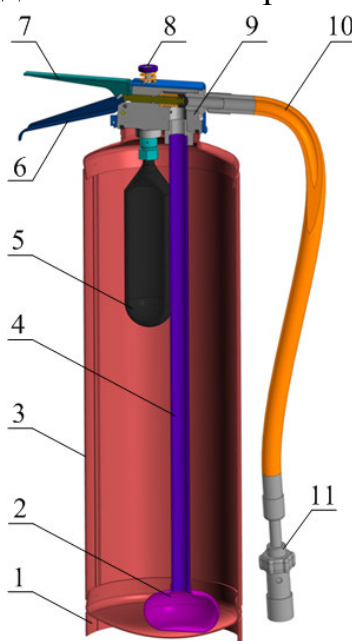


Рис. 1. Переносной воздушно-пенный огнетушитель с раздельным хранением воды и пенообразователя (3D-модель конструкции):

1 – подставка; 2 – емкость для хранения концентрированного пенообразователя; 3 – корпус; 4 – сифонная трубка; 5 – баллон со сжатым воздухом; 6 – ручка; 7 – рычаг; 8 – пробойник; 9 – запорно-пусковое устройство; 10 – рукав гибкий; 11 – пеногенератор

В качестве заряда огнетушителя [3] предлагается синтетический углеводородный пенообразователь общего назначения ПО-6 [4]. Срок хранения концентрированного пенообразователя – от 5 до 10 лет.

Поскольку баллон со сжатым воздухом необходимо освидетельствовать (тарировать) не реже одного раза в пять лет [5], эксплуатация огнетушителя рассчитана на пятилетний период.

Были изготовлены экспериментальные образцы огнетушителя (в количестве трех единиц) и проведены их испытания (рис. 2) на лабораторной и экспериментальной базах с применением поверенных измерительных приборов (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика измерительных приборов

Наименование физической величины	Требуемый предел (диапазон измерений)	Требуемая точность (класс, погрешность)	Наименование и тип прибора, оборудования
Масса	(0...15) кг	$\pm 0,01$ кг	Весы настольные циферблатные РН-10Ц
Объем	(0...10,5) дм ³	Кл. 2	Мерный сосуд
Линейные размеры	(0...620) мм	± 1 мм	Линейка измерительная металлическая
	(0...4) м	± 1 м	Рулетка измерительная металлическая Р10Н2К
	(0...170) мм	$\pm 0,1$ мм	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1
Время	300 с	Кл. 3	Секундомер механический СДСпр-1
Температура	(278...323) К [(5...50) °С]	± 1 К (± 1 °С)	Термометр ТЛ
Относительная влажность	(40...80) %	5 %	Психрометр МВ-4М
Скорость воздуха	(0,3...5) м/с	$\pm 0,3$ м/с	Анемометр АСО-3
Влажность древесины	(10...20) %	± 1 %	Влагомер
Давление	(84...106,7) кПа	$\pm 0,2$ кПа	Барометр-анероид БАММ-1

Основные параметры огнетушителя представлены в таблице 2. В частности, следует отметить улучшенные показатели, превышающие нормативные требования [3]:

- продолжительность подачи огнетушащего вещества – не менее 40 с в сравнении с нормативным показателем, составляющим не менее 30 с;

- длина струи огнетушащего вещества – не менее 8 м, что больше нормативного значения, которое составляет не менее 4 м, в два раза.

С целью использования в шахтах огнетушитель изготовлен для работы при температуре воздуха от плюс 5 до плюс 50 °С и относительной влажности воздуха до 100 % при температуре 35 °С.



а



б

Рис. 2. Фотографии огневых испытаний
экспериментальных образцов огнетушителя:
а) тушение модельного очага пожара класса 2А [3];
б) модельный очаг потушен, повторное воспламенение
не наблюдается

Таблица 2 – Основные параметры огнетушителя

Наименование параметра	Норма [3]	Экспериментальные данные
1. Вместимость корпуса, л (дм ³)	10	10
2. Давление в баллоне со сжатым воздухом, МПа	15...20	15
3. Продолжительность приведения огнетушителя в действие, с, не более	6	6
4. Продолжительность подачи огнетушащего вещества, с, не менее	30	40
5. Длина струи огнетушащего вещества, м, не менее	4	8
6. Остаток огнетушащего вещества в огнетушителе после его полного срабатывания, % от количества номинального заряда, не более	10	5
7. Масса огнетушителя полная, кг, не более	15	15

Результаты испытаний подтвердили надежность и эффективность разработанного изделия, его соответствие техническому заданию, конструкторской документации и требованиям государственного стандарта [3] на переносные огнетушители. По показателям назначения, надежности, эстетики, удобства применения, а также по степени унификации и стандартизации отвечает современным техническим требованиям. Огнетушитель конструктивно прост, технологичен в изготовлении и удобен в эксплуатации.

В рамках оценки финансово-экономической эффективности внедрения нового огнетушителя следует отметить, что при сравнении с прямым аналогом, огнетушителем воздушно-пенным ОВП-10, средняя стоимость которого по регионам Российской Федерации составляет 4054 руб., коммерческая цена предложенного огнетушителя будет выше на 5...7 % (4258...4338 руб.), при этом ежегодная экономия для потребителей составит (в среднем) 1000 руб., учитывая, что изделие можно не обслуживать, как минимум, пять лет.

В 2026 году запланировано изготовить опытные образцы огнетушителя в количестве четырех единиц, провести их предварительные и приемочные испытания.

Таким образом, внедрение новой конструкции переносного воздушно-пенного шахтного огнетушителя позволит обеспечить необходимый уровень противопожарной защиты поверхностных и подземных объектов, а также добиться снижения эксплуатационных расходов на техническое обслуживание огнетушителей.

Перечень ссылок

1. Левина, И. В. Особенности применения воздушно-механической пены для тушения пожаров / И. В. Левина, Н. С. Кицаева // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы IV междунар. науч.-практ. конф. – Саратов. – 2018. – С. 371–374.
2. Балта, Д. Ф. Повышение эффективности переносного огнетушителя / Д. Ф. Балта // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2015. – Вып. 52. – С. 148–152.
3. ГОСТ Р 51057-2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. – Введ. 2001-10-25. – Москва : Госстандарт России, 2001. – 45 с.
4. ГОСТ Р 50588-2012. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний. – Введ. 2012-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 24 с.
5. ПБ 03-576-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением : утверждены Постановлением Госгортехнадзора РФ от 11.06.2003 № 91. – Москва : Госгортехнадзор, 2003. – 188 с.

УДК 622.53:622.82.7

**О ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ ЭКЗОГЕННОГО И ЭНДОГЕННОГО
ПРОИСХОЖДЕНИЯ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА
ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

А.В. Агарков^{1,2}, Д.А. Политучий¹, Д.С. Буряк¹, О.Н. Лысенко³,
И.В. Цимбалист²

¹ ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,
г. Донецк, ДНР

² ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

³ ГБОУ «Школа № 31 г.о. Донецк»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. Представлены рекомендации по тушению экзогенных и эндогенных пожаров в шахтах при использовании альтернативного источника водоснабжения (подземного водоотлива). Разработана типовая принципиальная схема подачи воды от водоотлива по горизонту шахты с помощью насосного оборудования. Предложены фильтрующие элементы для очистки шахтных вод при их подаче по пожарно-оросительному трубопроводу, проложенному в горных выработках.

Annotation (Abstract). Recommendations for extinguishing exogenous and endogenous fires in mines using an alternative source of water supply (underground drainage) are presented. A typical schematic diagram of the water supply from the drainage along the mine horizon using pumping equipment has been developed. Filtration elements are proposed for the purification of mine waters when they are supplied via a fire and irrigation pipeline laid in mining workings.

Ключевые слова: шахта; аварийный участок; подземные экзогенные и эндогенные пожары; шахтный водоотлив; альтернативный источник водоснабжения.

Keywords: mine; emergency site; underground exogenous and endogenous fires; mine drainage; alternative water supply source.

Несмотря на ежегодное повышение уровня промышленной безопасности и противопожарной защиты шахт, подземные пожары остаются наиболее распространенным видом аварий, которые наносят

отрасли существенный материальный ущерб и сопровождаются риском для жизни и здоровья шахтеров и горноспасателей.

Самое дешевое и доступное средство для тушения пожаров – вода. Питание противопожарного водоснабжения шахт осуществляют от поверхностных пожарных резервуаров, которые заполняют от городских водопроводов [1].

Несмотря на все преимущества, на планете с каждым годом расширяется дефицит пресной воды, который усугубляется повсеместно из-за негативного антропогенного воздействия [2]. Существующая тенденция нуждается в поиске эффективных решений устойчивого обеспечения водоснабжением населения и производства, как на глобальном, так и на государственном отраслевом уровне.

В шахтах воду используют для производственных нужд и противопожарного водоснабжения. При этом в шахтах, имеющих большие притоки подземных вод, их следует использовать в качестве дополнительного или альтернативного источника противопожарного водоснабжения [3]. На рис. 1 представлены фотографии обводненных горных выработок, имеющих большие притоки подземных вод.



Рис. 1. Фотографии обводненных горных выработок, имеющих большие притоки подземных вод

Возможность использования водосборников водоотливных установок горизонтов в качестве резерва пожарного запаса воды для подземного пожаротушения предусмотрено в проектах противопожарной защиты шахт [1] и требованиях правил [3].

На практике использование шахтных вод вызывает затруднения в связи с возможностью возникновения поломки одной из систем из-за сложности обеспечения их правильной работы и учета всех функциональных связей задействованного оборудования. Основным препятствием к использованию шахтных вод для пожаротушения является их значительная минерализация, общая загрязненность взвешенными частицами угля и породы, высокая агрессивность в отношении материала труб и арматуры [4].

Очистку шахтных вод с целью их использования для пожаротушения следует располагать непосредственно в шахте. Перед использованием необходимо выполнить ее очистку отстаиванием и фильтрованием, например, грубой очистки [5]. На рис. 2 в качестве примера представлены фильтры для очистки шахтной воды типа «Гидроциклон» (одноступенчатый и двухступенчатый), которые следует подключать непосредственно к пожарно-оросительному трубопроводу через входной патрубок с тангенциальным подводом воды. Выходной патрубок второй ступени фильтра необходимо подсоединить к питающей ветви гидравлической системы пожаротушения. Промывка фильтра должна осуществляться путем подачи воды при открытом кране сброса шлама.



Рис. 2. Фильтр для очистки шахтной воды типа «Гидроциклон»: а) одноступенчатый фильтр; б) двухступенчатый фильтр

При использовании «Гидроциклона» очистка воды основана на принципе центробежной сепарации, эффективность разделения можно оценить исходя из скорости осаждения частиц под действием центробежной силы. Радиальная скорость осаждения частицы к стенке «Гидроциклона» для ламинарного течения, v_r , м/с, определяется согласно формуле

$$v_r = \frac{d^2 \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot v_\tau^2}{18\eta \cdot r}, \quad (1)$$

где d – диаметр осаждаемой частицы, м;
 ρ_1 – плотность осаждаемой частицы, кг/м³;
 ρ_2 – плотность среды, кг/м³;
 v_τ – тангенциальная скорость потока, м/с;

η – динамическая вязкость среды, Па;

r – текущий радиус вращения частицы, м.

При расчетах по формуле (1) предполагается, что вся энергия потока, входящего в аппарат, преобразуется во вращательное движение без потерь. Однако из-за трения о стенки и из-за внутренних вихреобразований реальная тангенциальная скорость в рабочей зоне будет на 10...30 % ниже расчетной.

Тангенциальную скорость потока, v_τ , м/с, можно определить по перепаду давления согласно формуле

$$v_\tau = \sqrt{\frac{2P_\Pi}{k_c \cdot \rho}}, \quad (2)$$

где P_Π – перепад давления между входом и выходом, Па;

k_c – коэффициент сопротивления, 1;

ρ – плотность среды, кг/м³.

Для инженерных расчетов часто используют зависимости от расхода и геометрических пропорций гидроциклона. Его производительность определяется диаметрами питающего и сливного патрубков, рабочим давлением и физико-химическими свойствами обрабатываемой пульпы. Формула для расчета производительности гидроциклона, Q , м³/ч, имеет следующий вид:

$$Q = k_p \cdot d_{\text{пит}} \cdot d_{\text{сл}} \cdot \sqrt{g \cdot P_\Pi}, \quad (3)$$

где k_p – коэффициент расхода, 1;

$d_{\text{пит}}$ – диаметр питающего патрубка, м;

$d_{\text{сл}}$ – диаметр сливного патрубка, м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Выбор методов очистки шахтной воды необходимо осуществлять в зависимости от состава и содержания загрязняющих веществ, а также реализовывать за счет индивидуальных или групповых очистных сооружений.

На рис. 3 представлена типовая принципиальная схема подачи воды от водоотлива по горизонту шахты с помощью насосного оборудования.

Таким образом, процессы, протекающие при совместной работе шахтного водоотлива и противопожарного водоснабжения, представляют собой сложное сочетание различных гидравлических параметров. Одновременно необходимо учитывать возможность гидравлического удара, возникновения разрыва струи,

особенности совместной работы насосного оборудования и большой протяженности сети шахтных пожарно-оросительных трубопроводов.

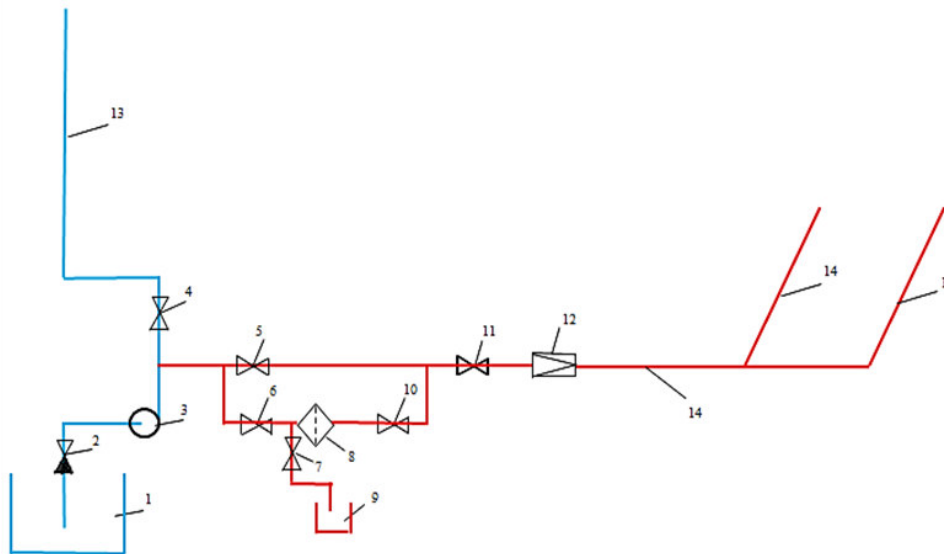


Рис. 3. Типовая принципиальная схема подачи воды от водоотлива по горизонту шахты с помощью насосного оборудования:

- 1 – отстойник, 2 – обратный клапан, 3 – насос,
4, 5, 6, 7, 10, 11 – задвижка, 8 – фильтр, 9 – сливная емкость,
12 – редукционный клапан, 13 – водоотливный став,
14 – сеть пожарно-оросительного трубопровода

Перечень ссылок

1. Противопожарная защита угольных шахт: Сборник документов. Серия 5. Вып. 1 / А. И. Субботин [и др.]. – Москва : Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. – 144 с.

2. Гусев, Н. Н. Эколого-экономическая оценка вовлечения шахтных вод в хозяйственный оборот / Н. Н. Гусев // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн. – 2010. – № 7. – С. 245–248.

3. Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых : утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.12.2020 № 505. – Москва : Ростехнадзор, 2020. – 286 с.

4. Лунева, О. В. Решение проблемы деминерализации шахтных вод – альтернативный подход / О. В. Лунева // Молодежное поколение в науке без границ: материалы VI научно-практической конференции в рамках молодежного научного форума. – Донецк, 2012. – С. 96–100.

5. Высоцкий, С. П. Комбинированный процесс микрофльтрации и обратного осмоса для очистки шахтных вод / С. П. Высоцкий, А. А. Печенога // Вести автомобильно-дорожного института. – 2020. – № 2 (33). – С. 62–67.

УДК 502.175:[622.012.2:622.411.32/.33](21)

ОЦЕНКА ГАЗОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА ГОРНЫХ ОТВОДАХ ШАХТ, В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

А.В. Агарков^{1,2}, Р.А. Тишин^{1,2}, Н.С. Заремба¹, А.В. Литвяков^{1,2}

¹ ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

² ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Предложены принципиальные схемы оценки газовой обстановки на горных отводах шахт, в зданиях и сооружениях, в том числе схемы систем дистанционного отбора проб воздуха; отбора проб газозооушной смеси из газоотводящих труб или экспресс-анализа проб с помощью переносных приборов газозооульного контроля; отбора проб воздуха у потолка и у почвы зданий (сооружений), подвальных и других помещений.

Annotation (Abstract). Schematic diagrams of the assessment of the gas situation at mine branches, in buildings and structures are proposed, including schemes for remote air sampling systems; sampling of a gas-air mixture from exhaust pipes or rapid analysis of samples using portable gas control devices; air sampling at the ceiling and at the soil of buildings (structures), basements and other rooms.

Ключевые слова: вредные газы; горный отвод; здания и сооружения; методы и приборы контроля; отбор и анализ проб воздуха; обеспечение безопасности людей; ликвидация и консервация угольных шахт; горноспасательная служба.

Keywords: harmful gases; mining; buildings and structures; methods and instruments for monitoring; sampling and analysis of air; ensuring people's safety; liquidation and preservation of coal mines; mine rescue service.

После отработки выемочных полей, ликвидации и консервации шахт, прекращения проветривания и затопления горных выработок увеличивается выделение вредных газов на поверхность горных отводов, что требует их постоянного мониторинга с целью обеспечения безопасности людей.

В условиях Донбасса за последние десятилетия произошли массовая ликвидация и консервация угольных шахт [1], что привело к увеличению площадей обследования угрожаемых и опасных зон

по выделению вредных газов, и, соответственно, к повышению объема контроля их выделения.

На основании оценки состояния поверхностных объектов и контроля выделения вредных газов разрабатывают и реализуют проекты ликвидации (консервации) шахт, рекомендации по обеспечению безопасности людей, защиты зданий и сооружений, а также по поддержанию территорий ликвидируемых шахт в экологически безопасном состоянии [2].

Вредные газы, выделяемые при прекращении проветривания и затоплении угольных шахт, содержат, как правило, метан и диоксид углерода. При чрезвычайных ситуациях также дополнительно определяют содержание оксида углерода, диоксида серы и сероводорода. Наиболее вероятные места скоплений вредных газов на поверхностных объектах, которые представляют высокую опасность из-за возможности их горения, взрыва и (или) отравления людей, – подвалы зданий и сооружений, погреба и различные углубления [3].

Факторы [4, 5], от которых зависит выделение вредных газов на участках горных отводов ликвидированных шахт: способы ликвидации (консервации) шахт; источники и пути выделения вредных газов; наличие технических, тектонических и геологических трещин; наличие проветривания, водоотлива и др. Данные факторы необходимо учитывать при выборе мест ведения газовой оценки.

Источники выделения вредных газов на поверхность: уголь, оставшийся в целиках, выработанных пространствах угольных пластов и нарушенных пластах-спутниках, подрабатываемые и надрабатываемые ниже верхней границы метановой зоны угольные пласты в зоне отработки, газоносные и обводненные породы, а также скопления вредных газов в геологических нарушениях, зонах динамического влияния разломов и др. Основные пути миграции вредных газов:

- стволы, шурфы, технические и дегазационные скважины, другие горные выработки, имеющие выход на поверхность и связанные с выработанными пространствами и горизонтами через выработки и трещины;

- незатампонированные геологоразведочные и дегазационные скважины, пройденные с поверхности и имеющие связь с выработанными пространствами;

- тектонические и геологические нарушения, рассекающие свиту пород до поверхности, с выходом в отработанные пространства или связанные с ними по выработкам или трещинам;

- места выходов пластов на поверхность;

– трещиноватые породы и пласты.

Объекты контроля (газовой оценки) в опасных зонах следующие:

– помещения первых этажей зданий, подполья и подвальные помещения жилых домов, хозяйственные постройки;

– смотровые колодцы подземных коммуникаций и других углублений;

– устья дегазационных, геологических, водоотливных и других скважин;

– газоотводящие трубы ликвидированных выработок и шахт;

– горные выработки, имеющие выход на поверхность;

– почва вокруг зданий и у границ опасных зон.

Непосредственно отбор проб воздуха в резиновые камеры проводят с использованием вакуумных ручных насосов (рис. 1).

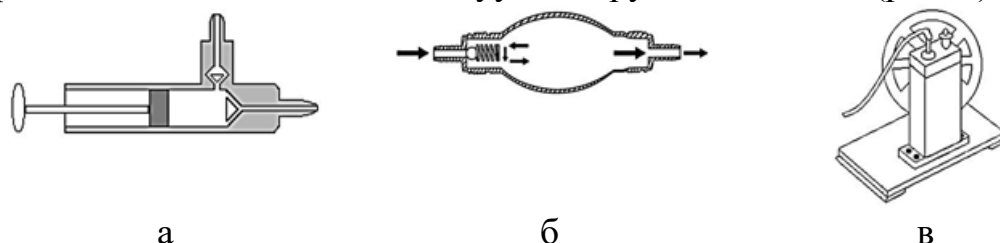


Рис. 1. Вакуумные ручные насосы:
а – ручной насос Шинца; б – вакуумная груша;
в – вакуумный насос Комовского

В случае необходимости (например, для отбора проб из труднодоступных мест или из вертикальных горных выработок) следует использовать метод продувания (дистанционный отбор проб воздуха), который основан на непрерывном прокачивании воздуха через пробоотборный трубопровод благодаря разрежению, создаваемому побудителем расхода. За время прокачивания воздуха происходит продувка магистральной линии трубопровода, достаточная для получения пробы.

На рис. 2 и 3 представлены принципиальные схемы систем дистанционного отбора проб воздуха в бюретки и резиновые камеры с использованием вакуумного насоса в качестве побудителя расхода.

С целью газового анализа отобранных проб воздуха необходимо использовать газоанализаторы и хроматографы.

Отбор проб газовоздушной смеси в резиновые камеры из газоотводящей трубы или экспресс-анализ пробы с помощью переносного прибора газового контроля проводят согласно схеме, представленной на рис. 3.

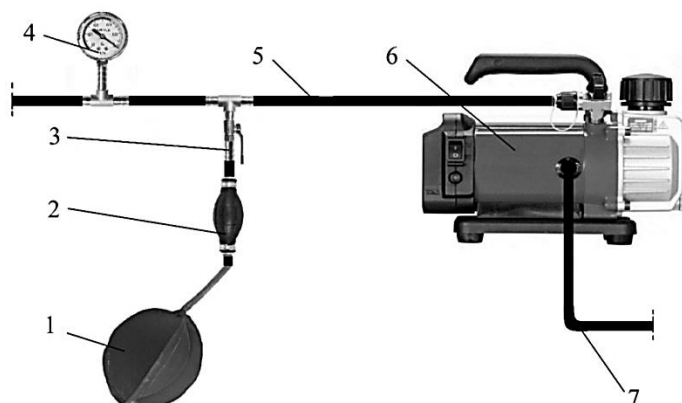


Рис. 2. Принципиальная схема системы дистанционного отбора проб воздуха в бюретки и резиновые камеры с использованием вакуумного насоса в качестве побудителя расхода:

1 – резиновая камера; 2 – резиновая вакуумная груша; 3 – Т-образный соединительный тройник с шаровым краном; 4 – мановакуумметр (вакуумметр); 5 – пробоотборный трубопровод; 6 – вакуумный насос; 7 – отводной шланг для сброса воздуха в окружающую среду

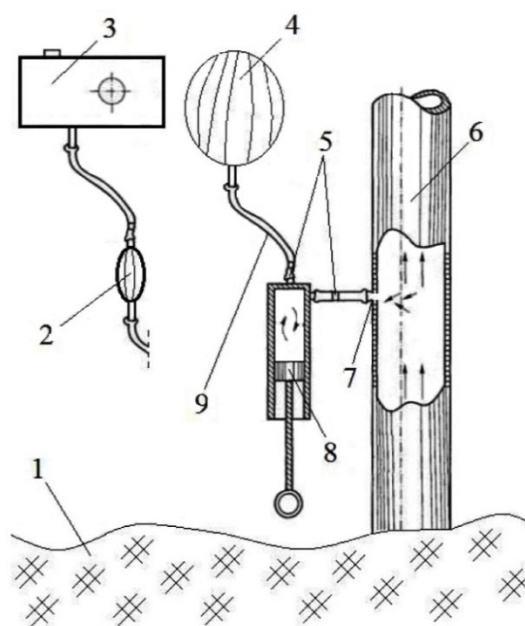


Рис. 3. Схема отбора проб газовой смеси в резиновые камеры из газотводящей трубы или экспресс-анализа пробы с помощью переносного прибора газового контроля:

1 – земная поверхность; 2 – резиновая груша от шахтного интерферометра типа ШИ или ручной вакуумный насос; 3 – переносный прибор газового контроля; 4 – камера для отбора проб; 5 – обратные клапаны; 6 – газотводящая труба; 7 – штуцер; 8 – ручной насос Шинца; 9 – шланг

Измерение содержания метана с помощью переносных приборов газового контроля и отбор проб воздуха в зданиях (сооружениях), подвальных и других помещениях выполняют в верхней части в 0,05 м от потолка у выхода (исходящей струи) из здания, а диоксида углерода – в 0,05 м от почвы у наиболее глубокого места или у имеющихся трещин.

При выполнении измерений в зданиях, расположенных в опасных зонах, перед началом работ необходимо: проанализировать состояние исследуемых объектов; выбрать способ измерения состава газов, необходимые оборудование и приборы; разработать порядок действий при выполнении измерений, а также соблюдать меры безопасности.

Разработаны принципиальные схемы контроля газовой обстановки на поверхностных объектах горных отводов шахт, в зданиях и сооружениях, в том числе схемы систем дистанционного отбора проб воздуха, схемы отбора проб газозооной смеси из газоотводящих труб или экспресс-анализа проб с помощью переносных приборов газового контроля и схемы отбора проб воздуха у потолка и у почвы здания (сооружения), в подвальном или другом помещении.

Учтены современные приборы газового анализа и рекомендованы меры безопасности при ведении контроля на поверхностных объектах, расположенных в опасных зонах.

Предложенные рекомендации позволят повысить безопасность людей, защиту зданий и сооружений за счет регламентирования основ эффективного ведения контроля выделения вредных газов на земную поверхность при ликвидации (консервации) шахт.

Перечень ссылок

1. Косов, О.И. Оценка экологической безопасности территорий горных отводов ликвидируемых шахт Восточного Донбасса: дис. ... канд. техн. наук. – Тула, 2010. – 140 с.
2. Исследование эмиссии угольного метана на поверхность из ликвидируемых шахт / Т.В. Корчагина, Н.В. Ефимова, А.Б. Жабин, С.А. Ишутина // Известия Тульского государственного университета: науки о Земле. – Тула, 2017. – № 4. – С. 48 – 60.
3. Ворхлик, И.Г. Технология закрытия (ликвидации) угольных шахт / И.Г. Ворхлик, В.И. Стрельников, И.Ф. Ярембаш; под ред. д-ра техн. наук. проф. И.Ф. Ярембаша. – Донецк: ДонНТУ, 2004. – 238 с.
4. Исследование содержания метана в почвенном воздухе в области выхода под наносы геологических нарушений / Т.А. Василенко, Н.И. Волошина, И.Е. Кольчик [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 7. – С. 159 – 166.
5. Контроль за выделением вредных газов на земную поверхность / А.М. Симонов, Н.В. Карнаух, А.В. Агарков, В.В. Захлебнн // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2021. – № 1(58). – С. 94 – 101.

УДК 550.34.01: 624.05: 624.21/.8

**МОДЕЛИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
ДЛЯ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ**

Ю.С. Бачинин, Н.В. Донцов, Д.В. Демидов
ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. В статье предложена классификация моделей календарного планирования строительного производства для автодорожных мостов, показаны их преимущества, недостатки и примеры применения.

Annotation. The article proposes a classification of construction scheduling models for highway bridges, showing their advantages, disadvantages and application examples.

Ключевые слова: автодорожный мост, календарное планирование, математическая модель, моделирование

Keywords: highway bridge, scheduling, mathematical model, simulation

Автодорожный мост как один из сложных и ответственных объектов транспортной инфраструктуры требует обеспечения сроков строительства, поэтому перед началом планирования строительства необходимо выбрать оптимальную модель календарного планирования, учитывающую уникальные технические, логистические и природно-климатические ограничения.

В отличие от линейных объектов, например, автомобильных дорог, мосты характеризуются не только строгой технологической последовательностью, но и высокой степенью параллелизма работ.

Неправильный выбор модели календарного планирования может привести к срыву сроков сдачи объекта, перерасходу бюджета и даже авариям на этапах, например, при монтаже пролётных строений.

Для эффективного управления строительным производством могут применяться различные подходы, классифицируемые по методу представления времени, уровню детализации, типу планирования, инструментальной базе и управлению ресурсами [1, 2].

В табл. представлена предлагаемая авторами классификация моделей календарного планирования строительного производства для автодорожных мостов, показаны их преимущества, недостатки, ограничения и примеры применения.

Таблица

Классификация моделей календарного планирования строительного производства для автодорожных мостов

Тип модели	Описание	Преимущества	Недостатки	Примеры применения
1	2	3	4	5
А. Критерий классификации: по типу планирования				
1. Жесткая (детерминированное)	Все сроки и продолжительности фиксированы, без учёта неопределённостей.	Простота, предсказуемость, удобно для контрактов.	Игнорирует риски: задержки поставок материалов, изделий и конструкций, погодные сбои, проблемы с логистикой.	Строительство в климатически стабильных регионах, например, на юге России (в тёплый сезон).
2. Гибкая (стохастическое, PERT)	Использует три оценки времени (оптимистичная, наиболее вероятная, пессимистичная) для каждой работы.	Позволяет рассчитать вероятность завершения проекта к дедлайну, строить резервы времени, управлять рисками.	Требует статистических данных и опыта оценщиков, сложнее в обучении.	Все крупные мосты в нестабильных погодных условиях (Сибирь, Дальний Восток, Север, горные районы). Пример: мост через Енисей (учёт ледохода и короткого строительного сезона).
Б. Критерий классификации: по уровню детализации				
1. Макроуровневая	Охватывает 4–6 ключевых этапов: подготовка, фундаменты, опоры, пролёты, покрытие, благоустройство	Быстрая разработка. Подходит для тендеров, бизнес-планов, согласования с госорганами.	Не позволяет управлять операциями на объекте, маскирует риски.	Подготовка проектной документации, финансирование, государственные закупки.
2. Микроуровневая	Детализация до операций: бетонирование подошвы опоры, напряжение предварительно напряжённой арматуры, монтаж балки краном.	Позволяет точно планировать потребность в технике, персонале, логистику, контролировать качество и сроки.	Требует больших ресурсов на сбор данных, обновление и согласование.	Текущее строительство, особенно на сложных участках (например, мост через судоходную реку с ограничениями по навигации).

Продолжение табл.

1	2	3	4	5
В. Критерий классификации: по методу представления времени				
1. График Ганта (Bar Chart)	Визуализация задач в виде горизонтальных полос. Применяется для общего представления этапов.	Проста для восприятия заказчиков и контролирующих органов.	Не отображает логические зависимости между операциями (монтаж пролёта зависит от готовности опор).	Представление проекта на совещаниях, презентации инвесторам, общие отчёты.
2. Линейная (Linear Scheduling / LSA)	Учитывает пространственно-временное перемещение ресурсов (передвижной опалубки, крана) вдоль моста.	Эффективна при повторяющихся операциях на протяжении моста (например, возведение одинаковых опор).	Не подходит для уникальных узлов (абсолютно разные типы опор, пролётов, переходов).	Мосты с повторяющимися опорами (например, 15 одинаковых пролётов на 1,2 км трассы).
3. Сетевая (CPM/PERT)	Использует узлы (события) и дуги (работы) с учётом зависимостей, резервов времени и критического пути.	Позволяет точно определить критические работы (погружение свай, монтаж пролётных строений), оценить риски, оптимизировать ресурсы.	Требует высокой точности исходных данных, сложна в настройке и поддержке.	Все этапы строительства моста: фундаменты, опоры, пролётные строения, подходы, покрытие проезжей части. Особенно критична при монтаже пролётов в ограниченные метеорологические окна (например, при паводке или ледоставе).
Г. Критерий классификации: по средствам обработки информации				
1. Ручные (бумажные/табличные) данные	Планирование в Excel, на бумаге, с помощью графиков вручную.	Низкая стоимость, доступность, не требует программного обеспечения.	Нет автоматизации, высокий риск ошибок, невозможно отслеживать изменения в реальном времени.	Малые и средние мосты, предварительные схемы, проекты с ограниченным бюджетом.

Окончание табл.

1	2	3	4	5
2. Программные средства (Digital)	Использование программного обеспечения, например, Primavera P6, Microsoft Project, Astra Schedule, BIM-интеграция (Navisworks, Revit).	Автоматизация расчётов, интеграция с BIM-моделью, отслеживание отклонений, генерация отчётов, управление ресурсами в реальном времени.	Высокая стоимость лицензий, требует квалифицированного персонала, длительное обучение.	Большие и уникальные мосты. Примеры – мосты через Волгу, Обь, Керченский пролив, мосты на Дальнем Востоке («Сахалин–Хабаровск»), мосты в составе МКАД/СЗАД.
Д. Критерий классификации: по типу управления ресурсами				
1. Ресурсно-ориентированная	Планирование с учётом ограниченности техники (краны, бетононасосы, сваебойные установки), персонала.	Предотвращает перегрузку, оптимизирует использование дорогостоящей техники (плавающих кранов).	Требует точных данных о доступности ресурсов, сложные расчёты.	Проекты с дефицитом специализированной техники (например, монтаж пролётов в горах без дорог).
2. Время-ориентированная	Приоритет — соблюдение сроков сдачи (при штрафах за просрочку). Ресурсы подбираются под график.	Обеспечивает дедлайны, критично при государственных контрактах.	Может привести к перерасходу ресурсов, нерациональному использованию техники.	Мосты, сдаваемые к юбилеям, Дню города, к зимним Олимпийским играм (например, мост к Олимпийскому парку в Сочи).

Вывод. Выбор оптимальной модели календарного планирования строительного производства для автодорожного моста – не просто техническая задача, а стратегическое решение, определяющее эффективность всего проекта. Эффективным является гибридный подход, сочетающий сетевое моделирование CPM/PERT, линейное планирование LSA для повторяющихся операций и BIM-интеграцию в 4D.

Перечень ссылок

1. Канин А.П., Карай Н.А. Моделирование производственных процессов строительства и ремонта автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1990. 102 с.
2. Могилевич В.М., Боброва Т.В. Организация дорожно-строительных работ. М.: Транспорт, 1990. 151 с.

УДК 624

ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО БОЯ В КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Г.Б. Вержбовский, А.В. Залиев

ФГБОУ ВО «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», г. Ростов-на-Дону, Ростовская
область

Аннотация: Описана методика прогнозирования прочности на сжатие строительных композитных материалов, основанная на использовании закона Гука. Показано совпадение аналитических и экспериментальных пределов прочности композитов с полимерными матрицами из эпоксидной смолы и полипропилена и наполнителями из цемента, кварцевого песка, щебня и древесной муки.

Annotation: A technique for predicting the compressive strength of building composite materials based on the use of Hooke's law is described. An agreement between the analytical and experimental strength limits of composites with polymer matrices of epoxy resin and polypropylene and fillers of cement, quartz sand, crushed stone and wood flour is shown.

Ключевые слова: композит, матрица, наполнитель, закон Гука, предел прочности, эпоксидная смола.

Key words: composite, matrix, filler, Hooke's law, tensile strength, epoxy resin.

Композиты находят широкое применение во всем мире. Многообразие составов, широкий спектр различных свойств и физико-механических характеристик делают эти искусственные материалы востребованными в различных отраслях. Одним из важных свойств композитов является их прочность. Как правило, она определяется в результате испытаний серий образцов материала с различным процентным соотношением его составляющих. Очевидно, что подобная оценка является наиболее достоверной, однако она требует больших затрат труда и значительного времени для подбора оптимального состава.

Жизненный цикл здания или сооружения завершается его утилизацией. При этом образуется значительное количество различных отходов. Если учесть тот факт, что по сведениям искусственного интеллекта только в настоящее время на планете существует от одного до полутора миллиардов зданий, не считая мостов, инженерных

сооружений и т.п., то очевидным становится необходимость повторного использования строительного боя.

Ведущие государства мира уже давно озабочены тем потенциальным ущербом, который может быть нанесен будущим поколениям, и поэтому главной проблемой цивилизации становится так называемое устойчивое развитие.

Оно подразумевает удовлетворение потребностей настоящего без ущерба для способности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности.

В связи с этим в строительстве всё большее применение получают различные изделия из композитных материалов с полимерными матрицами и наполнителями из переработанных отходов. Для сокращения времени, затрачиваемого на подбор рационального состава таких материалов, исследователи прибегают к использованию различных теоретических подходов к приближенному определению их прочностных характеристик.

Известны различные методики прогнозирования прочности композитов – модель Фойгта-Рейсса-Хилла, Метод Халпина-Цая, прием Форстера-Кнаппе и др. [1]. Все они являются приближенными, однако дают возможность уменьшить объем эксперимента.

Рассмотрим еще один прием определения прочности композита, основанный на применении закона Гука. Для этого введем следующие допущения:

- Композитный материал представляет собой смесь матрицы и одного или нескольких наполнителей, не вступающих в химическую реакцию друг с другом при перемешивании, то есть композит подчиняется правилу смеси;
- Получившийся материал и все его составляющие подчиняются закону Гука и испытывают упругие деформации при сжатии вплоть до начала разрушения;
- Пределом прочности композита на сжатие считается напряжение, при котором начинается разрушение слабейшей составляющей материала.

Закон Гука для одноосного сжатия записывается в виде (1)

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1)$$

все обозначения в котором общеизвестны.

Обозначим через R_c предел прочности композита на сжатие. Здесь индекс «с» относится к итоговому материалу. Прочность i -той составляющей композиции обозначим через R_i . Условимся

использовать те же нижние индексы и для других элементов (1). Тогда предел прочности искусственного материала можно представить в виде (2)

$$R_c = E_c \varepsilon_c. \quad (2)$$

Под нагрузкой образец деформируется, причем относительные деформации композита в целом и его i -того компонента соответственно могут быть записаны как

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c}, \quad \varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{E_i}.$$

Предположим, что разрушение образца наступит, когда в наименее прочной i -той составляющей композита будет достигнут ее собственный предел прочности R_i . В таком случае можно записать выражение для предельной относительной деформации в следующем виде

$$\varepsilon_c = \left(\frac{R_i}{E_i} \right)_{\min},$$

что после подстановки в (2) приводит к формуле (3)

$$R_c = E_c \left(\frac{R_i}{E_i} \right)_{\min}. \quad (3)$$

Физико-механические характеристики составляющих композит могут быть приняты из литературных источников, а модуль упругости E_c предлагается определять по [2] для бинарных или [3] – для многокомпонентных материалов.

Следует заметить, что (3) даёт верхнюю границу прочности, так как при перемешивании в смеси неизбежно появляются поры. В зарубежной и отечественной литературе, например, [4] учет порообразования предлагается производить умножением верхнего предела прочности композита на экспоненту вида

$$\xi = e^{-Kp},$$

где p – пористость материала в %, а K – эмпирический коэффициент, определяемый по результатам испытаний. Пористость эпоксидной

матрицы обычно не превышает 1%, а коэффициент K для этого материала принимают в интервале от 3 до 7.

Учет пористости приводит к следующей итоговой формуле для оценки прочности композита на сжатие:

$$R_c = E_c \left(\frac{R_i}{E_i} \right)_{\min} \cdot e^{-Kp}. \quad (4)$$

Для проверки применимости (4) были испытаны на сжатие образцы бинарного композитного материала, состоящего из равных массовых долей эпоксидной матрицы и цементного наполнителя, (рис. 1). Для изготовления образцов использовался цемент марки М400 и универсальная эпоксидная смола «Durabond Universal». Размеры образцов и методика испытаний соответствовали требованиям ГОСТ 10180-2012.



Рис. 1. – Испытания образцов

В результате испытаний серии из четырех образцов получено среднее значение прочности $R_c = 107 \pm 7,5$ МПа. Кроме того, были рассмотрены результаты аналогичных испытаний бинарных композитов иных составов, выполненные другими исследователями. Сравнение опытных и теоретических показателей выполнено в таблице, где последняя колонка показывает процент расхождения результатов.

Предлагаемый подход к отысканию предела прочности даёт возможность определить компонент композита, с которого начнется разрушение. Как следует из (4) для этого предел прочности отдельной составляющей должен рассматриваться совместно с ее пределом упругости. Таким образом, определяющим является не столько

прочность материала, сколько его комплексная характеристика, учитывающая и модуль упругости.

Таблица 1

Сравнение пределов прочности на сжатие композитных материалов

Состав композита (матрица / наполнитель с массовыми долями)	E_c , МПа	R_c , МПа по (4)	R_c , МПа эксп.	%
Эпоксидная смола (0,5) / цемент (0,5)	7143	113	107	5
Эпоксидная смола (0,34) / щебень (0,66) [5]	10183	41	45	15
Эпоксидная смола (0,2) / кварцевый песок (0,8) [5]	16667	12	11	8
Полипропилен (0,4) / древесная мука (0,6)	542	31	29	7

Как следует из таблицы 1 выражение (4) показывает достаточно близкие к экспериментальным значения пределов прочности на сжатие различных композиций, что дает возможность рекомендовать описанный подход к прогнозированию прочностных свойств современных полимерных композитных материалов.

Перечень ссылок

1. Alfrey T., Doty P. The Methods of Specifying the Properties of Viscoelastic Materials // Journal of Applied Physics, 1945, №16, p. 700-713.
2. Verzhbovskiy G.B. Method of Composite Materials Characteristics Forecasting // Procedia Engineering, 2016, №150, p. 1831-1836.
3. Вержбовский Г.Б. Прогнозирование физических свойств многокомпонентных композитных материалов с полимерной матрицей // Инженерный вестник Дона, 2022, №7 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7829/.
4. Несветаев Г.В., Кардунян Г.С. Влияние собственных деформаций на пористость и свойства цементного камня // Строительные материалы, 2015, №9, с. 38-42.
5. Kardianto1 A., Elvira1, Herwani1, Nurhayati1. Investigation of Epoxy Resin Effect as Additional Component on the Mechanical Properties of Polymer Concrete // Jurnal Teknik Sipil, 2025, №3(25), p. 2106-2118.

УДК [621.577:536.2](#)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАХТНЫХ ВОД КАК ГЕОТЕРМАЛЬНОГО РЕСУРСА ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ДОНБАССА)

А.С. Власов, Е.М. Белов

Уральский технический институт связи и информатики (филиал)
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики» г.Екатеринбурге (УрТИСИ
СибГУТИ)

Аннотация: В докладе рассматривается возможность использования шахтных вод Донбасса в качестве низкопотенциального геотермального ресурса для теплоснабжения городов. Приведены гидрогеологические данные региона, описана принципиальная схема утилизации тепла с применением тепловых насосов. Сделан вывод об экономической и экологической целесообразности данной технологии для постшахтных территорий.

Abstract: The report considers the possibility of using Donbas mine water as a low-potential geothermal resource for city heating. Hydrogeological data of the region are presented, and a principal heat utilization scheme using heat pumps is described. The conclusion is drawn about the economic and environmental feasibility of this technology for post-mining territories.

Ключевые слова: шахтные воды, геотермальный ресурс, теплоснабжение, Донбасс, тепловой насос, возобновляемая энергия, рекультивация шахт, энергоэффективность.

Keywords: mine water, geothermal resource, heat supply, Donbas, heat pump, renewable energy, mine reclamation, energy efficiency.

Современный Донбасс сталкивается с комплексом взаимосвязанных проблем: деградация угольной промышленности, закрытие большого количества шахт, непрекращающийся шахтный водоотлив, высокая степень износа централизованных систем теплоснабжения и, как следствие, рост затрат на отопление городов. Ежегодно из шахт региона откачиваются десятки миллионов кубометров воды, которая в большинстве случаев безвозвратно сбрасывается в поверхностные водотоки, нанося экологический ущерб, тогда как её тепловой потенциал остаётся невостребованным [1].

«По данным ГП „Донецкуголь“, на шахте им. Засядько на горизонте 800 м температура воды стабильно держится 16-17 °С, на шахте „Комсомолец Донбасса“ — 14,5 °С», что делает их идеальным

низкопотенциальным источником для геотермальных тепловых насосов. Задача заключается в переходе от практики пассивного водоотлива к концепции использования шахтных вод как возобновляемого геотермального ресурса для теплоснабжения городов.

Цель данного доклада - оценить ресурсный потенциал шахтных вод Донбасса, описать технические решения по их утилизации для теплоснабжения и показать возможные пути интеграции в постшахтную инфраструктуру региона.

1. Гидрогеологическая характеристика и ресурсный потенциал шахтных вод Донбасса

Донбасс характеризуется сложной гидрогеологической структурой. Водообильность шахт варьируется от 200 до 1500 м³/ч. Суммарный водоотлив по региону достигает 200-250 млн м³/год. Температура воды устойчива в течение года (годовые колебания не более 2-3 °С), что является критическим преимуществом для стабильной работы тепловых насосов.

Ключевой параметр - тепловая мощность, которую можно извлечь по формуле: $P = c \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta T$

где Q - дебит шахтной воды (м³/с), ΔT - допустимое охлаждение воды (обычно 3-5 °С).

Даже при скромном дебите 300 м³/ч и охлаждении на 3 °С теплосъём составляет около 1 МВт тепловой энергии. При суммарном водоотливе Донбасса потенциальная тепловая мощность оценивается в тысячи МВт, что сравнимо с мощностью нескольких блоков ТЭЦ.

2. Технологическая схема: шахтная вода + тепловой насос

Прямое использование шахтной воды (например, температурой +15 °С) для отопления невозможно - теплоносителю требуется 50-70 °С. Решение - парокомпрессионный тепловой насос (ТН).

Базовая схема включает:

Заборный блок - погружной насос в зумпфе или водосборнике шахты.

Блок подготовки - фильтры грубой и тонкой очистки (шахтная вода содержит взвеси и агрессивные компоненты).

Испаритель ТН - теплообменник, где хладагент отбирает тепло у шахтной воды (вода охлаждается с +15 до +10 °С).

Компрессор - повышает температуру хладагента до +60...+70 °С.

Конденсатор ТН - передаёт тепло в систему отопления города (подача 60 °С, обратка 50 °С).

Система сброса - отработанная (охлаждённая) шахтная вода либо возвращается в горные выработки, либо сбрасывается с меньшим тепловым загрязнением.

Коэффициент преобразования (COP) для таких условий достигает 3,5-4,5, то есть на 1 кВт электроэнергии компрессора получается 3,5-4,5 кВт тепла.

3. Примеры успешной реализации в мире и применимость для Донбасса

Международный опыт показывает высокую эффективность данного подхода:

Хайльбронн (Германия): теплоснабжение жилого района из закрытой шахты (вода +18 °C, COP 4,0, 2 МВт).

Спрингхилл (Канада): бывшая шахта обеспечивает 90 % потребностей города в тепле.

Шпитталь (Австрия): комбинированная система охлаждения/отопления административных зданий за счёт шахтных вод.

Применительно к Донбассу можно выделить следующие стартовые проекты:

Шахта «Запореваляная» (Донецк): водоотлив 450 м³/ч, температура +15 °C - расчётная мощность 3,5 МВт. Обеспечение теплом микрорайона «Текстильщик» или социальных объектов (больница, школа).

Шахта им. А.Ф. Засядько (Донецк): высокодебитная (до 1200 м³/ч) - потенциально до 10 МВт тепла, что позволяет заместить часть муниципальной котельной.

Шахта «Комсомолец Донбасса» (Торез): ресурс для отопления шахтного посёлка и водогрейной котельной.

4. Экономические и экологические эффекты

Экономия угля/газа: Каждый МВт тепловой мощности, полученной из шахтной воды, позволяет сэкономить 100-120 тыс. м³ газа в год (или 150-200 т угля).

Снижение выбросов: Замещение угольных котельных сокращает выбросы CO₂, SO₂ и золы в атмосферу городов.

Утилизация шахтной воды: Вместо теплового загрязнения рек (сброс тёплой воды) происходит сброс охлаждённой, что снижает экологическую нагрузку. Дополнительно решается проблема безвозвратного сброса ценного водного ресурса.

Капитальные затраты: тепловой насос + бурение/обвязка составляют порядка 35000-60000 руб./кВт - дороже газовой котельной, но с последующей очень низкой себестоимостью тепла (затраты только на электроэнергию компрессора и обслуживание). С учётом высоких цен на импортный газ для Донбасса срок окупаемости проектов 4-7 лет (при цене газа 12 руб./м³ (для ДНР/ЛНР с учётом перекрёстного

субсидирования) и стоимости электроэнергии 4,5 руб./кВт·ч срок окупаемости составит 6,3 года).

Вывод

Использование шахтных вод Донбасса как геотермального ресурса технически возможно и экономически перспективно при цене газа выше 10 руб./м³. Однако уникальность региона заключается в том, что прямые европейские решения здесь не работают из-за высокой коррозии, нестабильного дебита и институциональных ограничений. Первоочередная задача не строительство ТН, а:

- пилотный проект на шахте «Запореваляная» с титановым теплообменником и тепловой мощностью 1,5 МВт (питание котельной городской больницы №17),
- изменение классификатора возобновляемых источников энергии на уровне ДНР/ЛНР,
- бурение наблюдательных скважин для оценки деградации дебита во времени.

Только после этого можно говорить о масштабировании.

Перечень ссылок

1. Башкирцев В.И., Рогов А.Б. Гидрогеология Донбасса и шахтные воды как энергоресурс. - Донецк: ДонНТУ, 2019. - 210 с.
2. Бойко А.Н. Тепловые насосы в системах утилизации низкопотенциального тепла закрытых шахт // Горный журнал. - 2021. - №3. - С. 45-49.
3. Kuiper, P. Mine water as a geothermal energy source in post-mining regions: European experience // Geothermal Energy Science. - 2020. - Vol. 8. - P. 112-127.
4. Отчёт о водоотливе угольных шахт Донбасса / ГП «Донецкуголь». - Донецк, 2022. - 87 с.
5. Рекомендации по применению тепловых насосов на объектах бывших шахт в условиях Донбасса / НИИ «Энерготехнологии». - Донецк, 2023. - 62 с.

УДК [614.844.2:532.525.2/.3]:614.842/.847

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ
ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ
ОБЪЕКТАХ С ДИСКРЕТНЫМ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ
ПРИНЦИПАМИ РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ**

В.Л. Ефименко¹, А.П. Кирьян^{1,2,3}, А.В. Агарков^{2,4}, Д.А. Чухарев¹

¹ ФГКОУ ВО «Донецкий институт ГПС МЧС России»,
г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,
г. Донецк, ДНР

³ ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России»,
г. Москва, Московская область

⁴ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. Выполнен научно-технический анализ устройств пожаротушения с дискретным и газодинамическим принципами распыления жидкости, отмечены их достоинства и недостатки, представлены перспективные направления в области совершенствования пожарно-технического оборудования.

Annotation (Abstract). A scientific and technical analysis of fire extinguishing devices with discrete and gas-dynamic principles of liquid spraying has been performed, their advantages and disadvantages have been noted, and promising areas for improving fire-fighting equipment have been presented.

Ключевые слова: устройства тушения пожаров на поверхностных и подземных объектах; импульсная установка; дискретный и газодинамический принципы распыления жидкости.

Keywords: fire extinguishing devices at surface and underground facilities; pulse installation; discrete and gas-dynamic principles of liquid spraying.

В современных условиях при износе технологического оборудования и пониженном техническом уровне обслуживающего персонала на поверхностных и подземных объектах наблюдается увеличение количества пожаров, сопровождающихся материальными убытками и человеческими жертвами.

Эффективность тушения пожара зависит от оперативности развертывания сил и средств пожарных расчетов. При возникновении

локальных очагов наиболее популярное первичное средство пожаротушения – огнетушители. Для тушения пожара следует выполнить два основных требования: как можно быстрее начать тушение, а также подавать на очаг огнетушащие вещества (далее – ОТВ) требуемого состава и с необходимой интенсивностью.

В последние годы для подавления очагов возгорания на начальной стадии классов А (горение твердых веществ), В (горение жидких веществ), С (горение газообразных веществ), Е (электрооборудование, находящееся под напряжением) широкую популярность приобрели установки импульсного пожаротушения (далее – УИПТ), в конструкцию которых входят устройства с дискретным (рис. 1) или газодинамическим (рис. 2) принципами распыления жидкости [1]. Такие устройства обладают высокими показателями скорости импульса газочапельного потока, что позволяет подавлять возгорания локального характера на большом удалении оператора от очага пожара (от 10 до 15 м [2]).



Рис. 1. Установки импульсного пожаротушения с дискретным принципом распыления жидкости:
а) «Витязь» УИП-1 и УПТ 10/1(0,4)-7; б) ИГЛА-1-0,4; в) ОСА-1



Рис. 2. Установки импульсного пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости:
а) РУПТ-1-0,4; б) УПТ (модель АВ-3); в) ГИРС-400

Несмотря на значительный объем ранее проведенных исследований и внедрение различных УИПТ, они не являются совершенными. В частности, в научных работах [1, 2] недостаточно обоснованы оптимальные конструктивные параметры УИПТ, что не позволяет в полной мере реализовывать условия эффективной подачи ОТВ при ликвидации очагов горения.

В связи с вышеизложенным, научно-технический анализ УИПТ является актуальной задачей, имеющей важное практическое значение с целью выявления перспективных направлений дальнейших исследований в рамках обоснования оптимальных параметров и совершенствования УИПТ.

При анализе патентной документации можно выделить различные работы. Например, в устройстве [3] для ликвидации горения через систему трубопроводов и сопел происходит подача воды с небольшим расходом. Однако недостатком данной разработки является невысокая скорость истечения воды, что связано с большим сопротивлением во время прохождения жидкости через имеющиеся систему трубопроводов и сопла.

В устройстве [4] предлагалось повысить эффективность пожаротушения, экономичность использования воды и рабочего газа за счет увеличения кинетической энергии факела распыла. Однако недостатками являются отсутствие эффективности при подаче огнетушащей смеси, сложная система управления и быстродействующие клапаны, а также значительное количество трубопроводов [5]. Актуальным направлением исследований в данном случае является расширение функциональных возможностей и упрощение устройства путем сокращения количества трубопроводов и применения более простых и оперативных методов управления скоростью и объемом заполнения распылительной камеры, а также защита органов дыхания оператора.

В 1998 году была запатентована установка и сопло для создания газокпельной струи, где рассмотрена технология генерации струй повышенной дальности полета [6].

В переносных установках, где распылитель жидкости выполнен многоканальным [1], существенным недостатком является то, что генерация распыленных потоков жидкости как через центральный, так и через периферийные каналы распылителя жидкости, осуществляется в однофазном режиме без предварительного смешения жидкости и газа.

Установка [7] содержит емкость для хранения ОТВ, один баллон со сжатым газом, ствол с распылителем жидкого ОТВ и клапанами

подачи жидкости. Распыление жидкого ОТВ через распылитель осуществляется в однофазном режиме (без предварительного смешивания жидкости и газа). С помощью направляющих элементов завихрителя осуществляется закрутка потока жидкости, а также управление размером капель и углом раскрытия факела генерируемого тонкораспыленного потока. Недостатком этой переносной установки пожаротушения является то, что регулировку угла конусности распыленного потока и размера капель жидкости в распыленном потоке можно осуществлять только в ограниченном диапазоне [8]. При использовании ствола с регулятором режима распыления ОТВ невозможно попеременно генерировать однофазные (жидкостные) и двухфазные (газожидкостные) потоки. Кроме того, отсутствует возможность управлять пространственными характеристиками распыленного потока в широком диапазоне, изменять форму распыленного потока и регулировать расход ОТВ [9]. Данные недостатки обусловлены также отсутствием возможности управления скоростью капель за счет изменения режима генерации газокapельного потока.

В установках [10], с помощью которых обеспечивается генерация двухфазных газокapельных потоков за счет предварительного смешения жидкости и газа, и последующего ускорения сформированного газокapельного потока, требуемая скорость газокapельного потока, а также дальность подачи огнетушащего состава до 12 м, достигаются за счет давления газа, подаваемого в камеру смешения. При этом скорость газокapельной струи на выходе составляет до 80 м/с.

В 2012 году была предложена установка [11], которая имеет емкость для ОТВ, баллон с газом, ствол с распылителем и курковым механизмом, средство регулирования распыления ОТВ и трубопроводы. Конструкция УИПТ позволяет изменять режимы распыления ОТВ путем попеременного переключения между однофазным и двухфазным режимами генерации.

Таким образом, сравнивая конструктивные решения, приходим к выводу, что УИПТ с дискретным и газодинамическим принципами распыления жидкости имеют близкие характеристики по дальности подачи и скорости выброса огнетушащей жидкости. Однако конструкция установки с дискретным существенно сложнее конструкции установки с газодинамическим принципом распыления жидкости за счет имеющихся дополнительных узлов: пружин, двухступенчатого редукционного клапана и быстродействующего клапана, выполненного из дефицитного материала – титана. УИПТ с газодинамическим принципом распыления жидкости выполнены конструктивно проще, у них отсутствуют сложные узлы, не требуется применение дефицитных материалов, и они более просты в изготовлении.

Перспективные направления дальнейших исследований включают разработку математических моделей динамических процессов в устройствах пожаротушения с дискретным и газодинамическим принципами распыления жидкости для установления влияния конструктивных параметров на эффективность подачи ОТВ.

Перечень ссылок

1. Импульсные струи жидкости высокой скорости и их применение : монография / под редакцией А. Н. Семко. – Донецк : ДонГУ, 2014. – 370 с.
2. Дауэнгауэр, С. А. Пожаротушение тонкораспыленной водой: механизмы, особенности, перспективы / С. А. Дауэнгауэр // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – Т. 13. – № 6. – С. 78–81.
3. Пат. 2132752 Российская Федерация, МПК В05В 7/04. Устройство для создания газокапельной струи и клапан для подачи двухфазной рабочей среды / Э. А. Доркин, И. А. Лепшинский, А. В. Карпышев ; Научно-исследовательский институт низких температур при Московском государственном авиационном институте (техническом университете). – № 98106891/25 ; заявл. 13.04.1998 ; опубл. 10.07.1999.
4. Пат. 2076760 Российская Федерация, МПК А 62 С 5/00, 35/00. Способ и устройство для пожаротушения / А. М. Кордунский, Ю. С. Чишевский, О. И. Демин, Ю. П. Ключко, С. О. Демин, К. А. Сиротин, С. А. Дюба, Н. Н. Носиков. – № 96118120/12 ; заявл. 22.08.1996 ; опубл. 04.10.1997.
5. Пат. 2264833 Российская Федерация, МПК А62С 13/62. Распылитель жидкости и огнетушитель / В. И. Долотказин, А. Л. Душкин, А. В. Карпышев. – № 2004126285/12 ; заявл. 02.09.2004 ; опубл. 27.11.2005.
6. Пат. 89397 Российская Федерация, МПК А62С 15/00. Ранцевая установка импульсного пожаротушения / А. Г. Иваницкий, В. В. Самойлов, А. С. Лебедев ; Республиканское унитарное производственное предприятие «Витязь» (РУПП «Витязь») – № 2008106069/22 ; заявл. 18.02.2008 ; опубл. 10.12.2009.
7. Пат. 2254155 Российская Федерация, МПК А62С 15/00. Переносная установка пожаротушения и распылитель жидкости / А. Л. Душкин, А. В. Карпышев, А. Н. Протасов. – № 2004106710/12 ; заявл. 10.03.2004 ; опубл. 20.06.2005.
8. Пат. 2430789 Российская Федерация, МПК В05В 1/34. Мобильная установка пожаротушения / О. С. Кочетов, М. О. Стареева. – № 2010120465/05 ; заявл. 21.05.2010 ; опубл. 10.10.2011.
9. Пат. 2416441 Российская Федерация, МПК А62С 13/04. Огнетушитель Кочетова / О. С. Кочетов, М. О. Стареева. – № 2010120447/12 ; заявл. 21.05.2010 ; опубл. 20.04.2011.
10. Пат. 2297864 Российская Федерация, МПК А62С 13/00. Устройство пожаротушения / А. Л. Душкин, А. В. Карпышев. – № 2005124563/12 ; заявл. 02.08.2005 ; опубл. 27.04.2007.
11. Пат. 2490041 Российская Федерация, МПК А62С 15/00. Переносная установка пожаротушения / А. Л. Душкин, А. В. Карпышев, С. Е. Ловчинский, И. Е. Панкин ; Общество с ограниченной ответственностью «ТЕМПЕРО». – № 2012110021/12 ; заявл. 15.03.2012 ; опубл. 20.08.2013.

УДК [622.82:622.411.3]:[62-543.27.05]-519

**ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ
СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОТБОРА
И ПОСЛЕДУЮЩЕГО АНАЛИЗА ПРОБ ПОЖАРНЫХ ГАЗОВ
В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ АВАРИЙНЫХ УЧАСТКОВ
УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

В.В. Захарова¹, А.В. Агарков^{1,2}, А.А. Всякий², Е.М. Петрова¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Предложена принципиальная схема усовершенствованной системы дистанционного отбора и анализа проб пожарных газов в горных выработках аварийных участков угольных шахт для повышения безопасности труда горноспасателей и эффективности ведения аварийно-спасательных работ путем повышения оперативности и достоверности дистанционного контроля газовой обстановки.

Annotation (Abstract). A conceptual design of an improved system for remote sampling and analysis of fire gases in mine workings of emergency areas of coal mines is proposed to improve the safety of mine rescuers and the effectiveness of emergency rescue operations by increasing the efficiency and reliability of remote monitoring of the gas situation.

Ключевые слова: угольная шахта; аварийный участок; горная выработка; подземный пожар; контроль газовой обстановки; дистанционный отбор и последующий анализ проб; пожарные газы; усовершенствованная система; принципиальная схема.

Keywords: coal mine; emergency area; mine working; underground fire; gas monitoring; remote sampling and subsequent analysis; fire gases; improved system; schematic diagram.

Подземные пожары остаются наиболее распространенным видом аварий, ликвидация которых сопряжена с высокой вероятностью взрыва газозвдушной смеси и возникновением других условий, опасных для жизни горноспасателей. В этом случае получение достоверных данных о шахтной среде аварийного участка путем дистанционного отбора и последующего анализа проб пожарных газов в течение всего периода ликвидации аварии – одно из главных условий

безопасного и эффективного ведения спасательных работ [1].

В настоящее время подразделения горноспасательной службы 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 пожарных газов в газоаналитической лаборатории [1].

Результаты анализа проб при определении концентраций метана, оксида и диоксида углерода, водорода, кислорода и других газов [2, 3] являются основными данными для оценки динамики и степени развития пожара.

Недостаток данного способа и применяемых технических средств – отсутствие достоверности газового контроля, 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 [1].

Таким образом, совершенствование способов и средств дистанционного отбора и последующего анализа проб пожарных газов – актуальное направление научных исследований, имеющее важное практическое значение.

Цель настоящего исследования – разработка принципиальной схемы усовершенствованной системы дистанционного отбора и последующего анализа проб пожарных газов в шахтах.

На основании проведенных исследований предлагается система (рис. 1), позволяющая осуществлять отбор проб по сечению выработок, имеет в комплекте фильтры для снижения скапливания влаги (конденсата) в пробоотборном трубопроводе и осушения откачиваемого по магистрали воздуха перед попаданием в газоаналитический прибор для экспресс-анализа проб в шахте или в емкость для отбора проб.

Работа изделия, согласно рис. 1, заключается в следующем:

а) в случае дистанционного отбора проб воздуха из неизолированных аварийных участков или горных выработок, воздух, отбираемый многоточечным пробоотборником 29, откачивается по пробоотборному трубопроводу 23, и, в случае необходимости, через фильтры-влагоотделители 25, а также через фильтр-осушитель 24 под действием разрежения, создаваемого эжектором АЭРА 5 или ВЭЖ 8, в зависимости от вида питания,

и через отводной трубопровод 7 сбрасывается в окружающую среду;

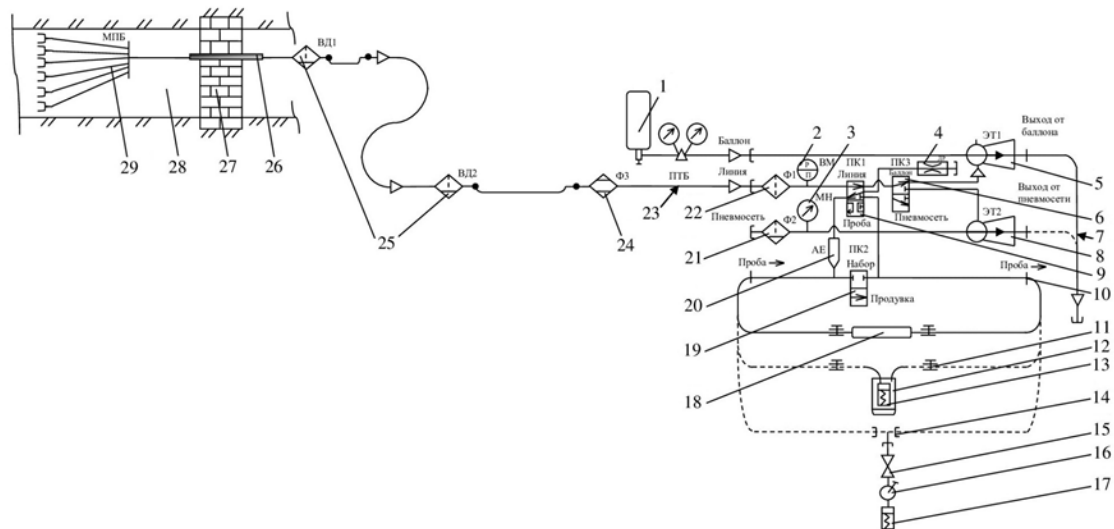


Рис. 1. Принципиальная схема усовершенствованной системы дистанционного отбора и последующего анализа проб пожарных газов в шахтах:

1 – баллон (с редуктором) со сжатым воздухом; 2 – вакуумметр (ВМ); 3 – манометр (МН); 4 – дроссель (ДР); 5, 8 – эжекторы (ЭТ1 – эжектор АЭРА, ЭТ2 – эжектор ВЭЖ); 6, 9, 19 – краны выбора режимов работы и питания (ПК1, ПК2, ПК3); 7 – отводной трубопровод для сброса воздуха в окружающую среду; 10 – штуцеры ПРОБА; 11 – зажимы Мора; 12 – буферный резервуар для набора пробы в камеру; 13, 17 – камеры для отбора проб; 14 – Т-образный соединительный тройник; 15 – кран шаровый; 16 – ручной вакуумный насос; 18 – бюретка; 20 – аккумулялирующая емкость (АЕ); 21 – фильтр для очистки воздуха, подаваемого из пневмосети (Ф2); 22 – фильтр для очистки отбираемой пробы от пыли и механических примесей (Ф1); 23 – пробоотборный трубопровод (ПТБ); 24 – фильтр-осушитель (Ф3); 25 – фильтры-влагоотделители (ВД1 – основной, ВД2 – дополнительный); 26 – металлическая труба, монтируемая в изолирующее сооружение при его возведении; 27 – изолирующее сооружение; 28 – изолированное пространство аварийного участка или горной выработки; 29 – многоточечный пробоотборник (МПБ)

б) в случае возведения изолирующего сооружения 27 и монтажа трубы 26, воздух, отбираемый в изолированном пространстве аварийного участка или горной выработки 28 многоточечным пробоотборником 29, откачивается по пробоотборному трубопроводу 23 через основной фильтр-влагоотделитель 25 и, в случае необходимости, через дополнительный фильтр-влагоотделитель 25, а также фильтр-осушитель 24 под действием разрежения, создаваемого

эжектором АЭРА 5 или ВЭЖ 8, в зависимости от вида питания, и через отводной трубопровод 7 сбрасывается в окружающую среду.

При питании побудителя расхода от баллона со сжатым воздухом 1, кран 6 устанавливается в положение БАЛЛОН, при этом работает эжектор АЭРА 5. При питании от пневмосети кран 6 устанавливается в положение ПНЕВМОСЕТЬ, при этом работает эжектор ВЭЖ 8. Подаваемый из пневмосети воздух очищается фильтром 21, а величина давления измеряется манометром 3. При установленном кране 9 в положение ЛИНИЯ, отбираемая проба откачивается через фильтр 22, а величина разрежения измеряется вакуумметром 2.

Набор пробы в бюретку осуществляется следующим образом. При установке крана 9 в положение ПРОБА, а крана 19 в положение НАБОР, отбираемая проба воздуха продувает и наполняет аккумулирующую емкость 20, предназначенную для приведения части отбираемой пробы к нормальному состоянию, а также наполняет бюретку 18. Разрежение контролируется вакуумметром 2. При переводе крана 9 в положение ЛИНИЯ, шахтный воздух продолжает непрерывно откачиваться по пробоотборному трубопроводу 23 с максимальной производительностью. Аккумулирующая емкость 20 через дроссель 4 заполняется воздухом окружающей среды, а часть пробы из аккумулирующей емкости 20 переходит в бюретку 18 и выравнивает в ней давление. Дроссель 4 ограничивает расход поступающего газа, что препятствует его завихрению и перемешиванию с пробой в аккумулирующей емкости 20 и исключает попадание его в бюретку 18. Бюретка 18, с помощью зажимов Мора 11 на соединительных трубках, герметизируется, отсоединяется со штуцеров ПРОБА. Концы соединительных трубок заглушаются пробками стеклянными. Снимаются зажимы Мора 11 с соединительных трубок, и бюретку 18 используют для газового анализа пробы.

Набор пробы в камеру для отбора проб с использованием буферного резервуара осуществляется следующим образом. При установке крана 9 в положение ПРОБА, а крана 19 в положение НАБОР, во внутренней полости буферного резервуара 12 создается разрежение, превышающее по величине в пробоотборном трубопроводе 23, что обеспечивает наполнение камеры 13 отбираемой пробой.

После перекрытия входа в камеру для отбора проб 13 и перевода крана 9 в положение ЛИНИЯ, а крана 19 в положение ПРОДУВКА, в полость буферного резервуара 12 через аккумулирующую емкость 20

и дроссель 4 поступает воздух окружающей среды и выравнивает в ней, а также в камере для отбора проб 13 давление до нормального (атмосферного). Это приводит к уменьшению ее объема и облегчает извлечение из буферного резервуара 12 (камера 13 может быть извлечена из корпуса, герметизирована пережатием горловины, пробкой стеклянной и использована для газового анализа).

Набор пробы шахтного воздуха в камеру с использованием приспособления, состоящего из Т-образного соединительного тройника, крана шарового и ручного вакуумного насоса осуществляется следующим образом. После продувки пробоотборного трубопровода 23, при переводе крана 19 в положение НАБОР, крана 9 в положение ПРОБА и перекрытом кране шаровом 15, шахтный воздух проходит через соединительные трубки с зажимами Мора 11, Т-образный соединительный тройник 14 и через отводной трубопровод 7 сбрасывается в окружающую среду.

После открытия крана шарового 15, камера для отбора проб 17 наполняется пробой воздуха с помощью ручного вакуумного насоса 16. После наполнения камеры 17 пробой, кран шаровой 15 перекрывается, кран 9 переключается в положение ЛИНИЯ, а кран 19 – в положение ПРОДУВКА, камера для отбора проб 17 может быть извлечена, герметизирована пережатием горловины и пробкой стеклянной, и использована для газового анализа.

Экспресс-анализ проб воздуха непосредственно в шахте на безопасном расстоянии от аварийного участка можно осуществлять двумя способами:

1) Перед открытием крана шарового 15 вместо камеры для отбора проб воздуха 17 к ручному вакуумному насосу 16 подсоединяют газоаналитический прибор с помощью специальной пробозаборной насадки или адаптера.

После открытия крана шарового 15 с помощью ручного вакуумного насоса 16 осуществляется принудительная подача шахтного воздуха в газоанализатор до установления стабильных показаний концентраций измеряемых газов. Фиксируются показания газоанализатора, перекрывается кран шаровой 15, кран 9 переключается в положение ЛИНИЯ, а кран 19 – в положение ПРОДУВКА, газоанализатор может быть отсоединен.

2) После набора пробы шахтного воздуха в камеру с использованием буферного резервуара или вспомогательного приспособления (Т-образный соединительный тройник, кран шаровой и ручной вакуумный насос), камера подсоединяется к газоанализатору с помощью специальной пробозаборной насадки или адаптера, после

осуществляется принудительная подача шахтного воздуха в газоанализатор до установления стабильных показаний концентраций измеряемых газов. Отсоединяется камера, и фиксируются показания газоанализатора.

Газовый анализ проб следует осуществлять экспресс-методом с помощью переносных газоанализаторов [4]. С целью расчета треугольника взрываемости смеси горючих газов необходимо использовать программные системы [5].

Таким образом, предложена принципиальная схема усовершенствованной системы дистанционного отбора и анализа проб пожарных газов в горных выработках аварийных участков угольных шахт для повышения безопасности труда горноспасателей и эффективности ведения аварийно-спасательных работ путем повышения оперативности и достоверности дистанционного контроля газовой обстановки.

Перечень ссылок

1. 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.

2. Ушаков, К. З. Газовая динамика шахт / К. З. Ушаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 481 с.

3. Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых : утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.12.2020 № 505. – Москва : Ростехнадзор, 2020. – 286 с.

4. Агарков, А. В. Приборы газового анализа проб шахтного воздуха, отобранных непосредственным или дистанционным способами при ликвидации пожаров и ведении горноспасательных работ / А. В. Агарков // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования : науч. журн. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2021. – № 2 (9). – С. 20-29.

5. Мавроди, А. В. Программное обеспечение горноспасательных работ / А. В. Мавроди, В. В. Захлебн // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : науч.-техн. журн. – Донецк : НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР, 2020. – № 1 (57). – С. 86-94.

УДК 622.867.2:614.8

ОСОБЕННОСТИ ВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В НЕОБСЛУЖИВАЕМЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ МАЛЫХ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ, ИМЕЮЩИХ ВЫХОДЫ НА ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

В.В. Захарова¹, А.В. Мавроди², А.В. Агарков^{1,2}, Д.А. Бутко¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Выполнен научно-технический анализ особенностей, условий и опыта ведения аварийно-спасательных работ на малых угледобывающих предприятиях, которые характеризуются высокой аварийностью и травматизмом, а также представляют собой необслуживаемые горные выработки, имеющие выходы на земную поверхность.

Annotation (Abstract). A scientific and technical analysis of the features, conditions, and experience of conducting emergency rescue operations at small coal mining enterprises has been carried out. These enterprises are characterized by high accident rates and injuries, as well as being unattended mine workings with access to the earth's surface.

Ключевые слова: горная выработка; земная поверхность; аварийно- и горноспасательные работы.

Keywords: mine workings; earth's surface; emergency and mine rescue operations.

Заккрытие нерентабельных угольных шахт, расположенных на территории Донецкой Народной Республики (далее – ДНР), привело к появлению в границах горных отводов малых угледобывающих предприятий по добыче угля подземным способом. Такие предприятия характеризуются низким уровнем безопасности, что зачастую приводит к авариям с человеческими жертвами, ликвидация которых требует привлечения специальных сил и средств [1, 2, 3].

Проблемой закрытых угольных шахт остаются провалы на поверхности, которые образуются в окрестности зоны деятельности малых угледобывающих предприятий, ликвидированных шурфов, наклонных стволов и подземных выработок, расположенных на небольшой глубине. Только

на территории г. Донецка насчитывается свыше 1000 опасных мест, а практика показывает, что надежных способов предотвращения образования провалов пока не существует.

Пока ведутся поиски решения по устранению последствий проблем, возникающих от закрытия горных предприятий и образования провалов на земной поверхности, ответственность за обеспечение безопасности населения в условиях повышенного риска чрезвычайных ситуаций возлагается на горноспасательную службу.

В связи с этим разработка рекомендаций, регламентирующих ведение горноспасательных работ в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность, является актуальной научно-технической задачей.

Согласно Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ (с изменениями и дополнениями) предприятия, относящиеся к I классу опасности и осуществляющие добычу полезного ископаемого подземным способом, обязаны планировать и осуществлять мероприятия по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте [4, 5].

Однако большинство малых угледобывающих предприятий не состоят на обслуживании подразделений ФГУП «Военизированная горноспасательная часть ДНР» (далее – ФГУП «ВГСЧ ДНР»), на таких предприятиях отсутствуют планы ликвидации аварий (далее – ПЛА).

При этом в случае возникновения аварии, на основании обращений органов местного самоуправления и по решению органов, осуществляющих управление деятельностью аварийно-спасательных служб, привлекают подразделения ФГУП «ВГСЧ ДНР» [2].

Аварии на необслуживаемых объектах, как правило, происходят из-за низкой трудовой и производственной дисциплины, несоответствия крепления горных выработок, отсутствия проветривания и контроля газовой обстановки, неудовлетворительного технического состояния оборудования и механизмов, нередко сделанных из подручных средств.

В связи с тем, что аварийный объект не состоит на обслуживании ФГУП «ВГСЧ ДНР», горноспасатели не знают сети горных выработок, расположение вентиляционных устройств, техническое состояние используемого оборудования и др. Зачастую информацию о характере произошедшей аварии, расположении выработок и количестве застигнутых аварией людей, узнают от очевидцев или коллег пострадавших. Однако такая информация, как правило,

не соответствует действительному положению на аварийном участке. В таких случаях старшему командному составу необходимо оперативно разрабатывать превентивные мероприятия по спасению пострадавших, а также сохранению жизни и здоровья личного состава. Проведенный анализ аварийности и травматизма на малых угледобывающих предприятиях в период с 2020 по 2025 гг. позволил установить основные причины и условия возникновения аварий в необслуживаемых горных выработках шахт (рис. 1).

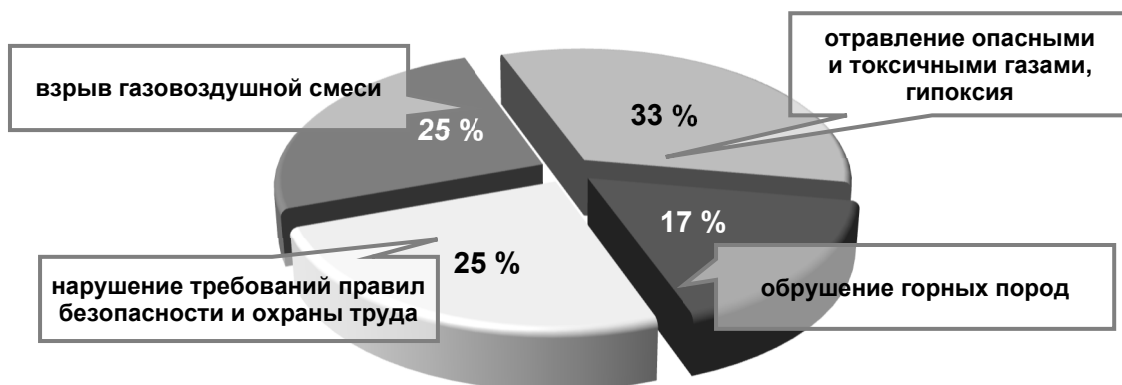


Рис. 1. Аварийность и травматизм на малых угледобывающих предприятиях ДНР в период с 2020 по 2025 гг.

Для примера рассмотрим одну из аварий, произошедшую 19.02.2020 на малом угледобывающем предприятии в г. Шахтерске (данное предприятие не состояло на обслуживании ФГУП «ВГСЧ ДНР», ПЛА отсутствовал). От диспетчера горноспасательной части поступила информация о том, что на поверхности у устья горной выработки находится пять человек с ожогами. К месту возникновения аварии прибыли два отделения и две реанимационно-противошоковые группы 2 военизированного горноспасательного отряда г. Торез. Установлено следующее: устье наклонной горной выработки пройдено квадратным сечением (шириной 2,2 м и высотой 2,2 м), угол наклона выработки составляет 17°...20°, с поверхности в выработку проложено два электрических кабеля, устойчивое проветривание в аварийной выработке отсутствует. Вход к устью наклонной выработки осуществлен через эстакаду, внутри которой смонтирована электрическая лебедка неустановленного образца. Электроэнергия на промышленной площадке отсутствует. Под эстакадой находится грузовой автомобиль, загруженный горной массой (рис. 2).

Протяженность наклонной горной выработки составляла 600 м. На расстоянии 600 м от устья наклонной выработки по левой стороне пройден разрез прямоугольным сечением (шириной 4,0 м и высотой 1,2 м), длиной 300 м с углом наклона 0° (рис. 3).

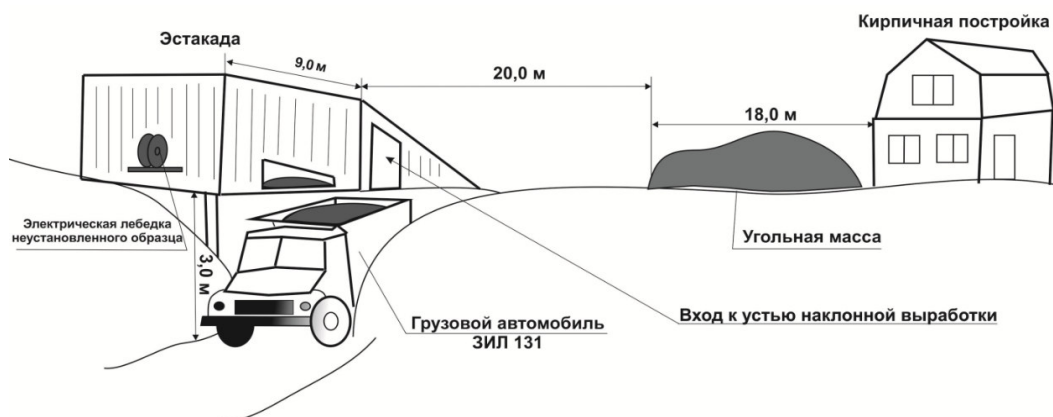


Рис. 2. Эскиз поверхностного комплекса копанки (артели)

Горноспасательному отделению была дана команда обследовать наклонную горную выработку ниже устья на 20 м, замерить расход воздуха и осуществить контроль газовой обстановки.

В ходе опроса работников предприятия было установлено, что на поверхность вышли все люди из аварийной выработки. На основании этого ведение разведки прекращено и завершены работы.

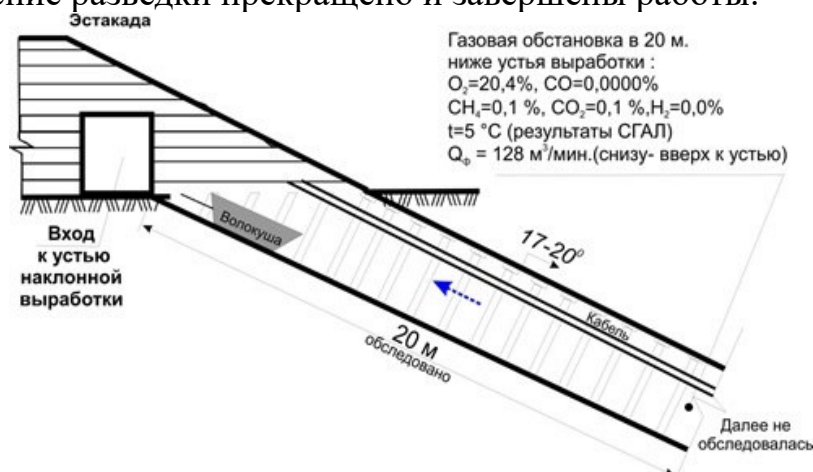


Рис. 3. Эскиз наклонной горной выработки копанки (артели)

В результате произошедшей аварии пять человек травмированы с различной степенью тяжести. Причиной аварии послужило воспламенение газовой смеси из-за несоблюдения требований правил безопасности и норм охраны труда.

На основании проведенных исследований установлены характерные особенности малых угледобывающих предприятий:

- низкий уровень производственной безопасности;
- удаленное расположение от стационарных источников энергии и транспортных коммуникаций;
- небольшая глубина разработки, отработка запасов в зоне газового выветривания пластов, что обуславливает небольшое

газовыделение;

- малые ($1,5 \dots 6 \text{ м}^2$) поперечные сечения горных выработок;
- тупиковые схемы проветривания и отсутствие запасных выходов;
- отсутствие дополнительных выработок со свежими струями воздуха для выхода людей и передвижения горноспасателей к аварийному участку при авариях;

- неудовлетворительное проветривание подземных выработок, зачастую использование сжатого воздуха (от работы отбойных молотков) для проветривания рабочей зоны, что является одной из основных причин воспламенений (взрывов) газовой смеси и отравлений рабочих.

Таким образом, выполнен научно-технический анализ особенностей, условий и опыта ведения горноспасательных работ на малых угледобывающих предприятиях (копанках, артелях), которые характеризуются высокой аварийностью и травматизмом, а также представляют собой необслуживаемые горные выработки, имеющие выходы на земную поверхность. Это, в свою очередь, требует от горноспасателей индивидуального подхода, учитывающего особенности каждой конкретной аварии на таких объектах.

Перечень ссылок

1. Миронюк, С.М. Ликвидация шахт российского Донбасса и вопросы безопасного ведения горных работ / С.М. Миронюк // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 11. – С. 174-177.

2. Галлер, А.А. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело: учебное пособие / А.А. Галлер; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2021. – 154 с.

3. Кураков, Ю.И. Влияние закрытия шахт на окружающую среду шахтёрских городов и поселков / Ю.И. Кураков, В.Н. Кухтин, В.Г. Суворов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – № 4. – С. 123-124.

4. Методические рекомендации по выбору методов оценки рисков чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2021. – 32 с.

5. Иваненко, А.Ф. Оценка экологического риска при ликвидации и консервации угольных шахт ДНР / А.Ф. Иваненко, П.Е. Мухин // Научный вестник НИИГД Респиратор. – 2023. – № 1 (60). – С. 106-113.

УДК 622.86:622.411.3

**ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГОРНЫХ
ВЫРАБОТКАХ ШАХТ ПО КОНЦЕНТРАЦИЯМ ГАЗОВ
ПРИ ЭКЗОГЕННЫХ ПОЖАРАХ**

В.В. Захарова¹, А.В. Агарков^{1,2}, А.Н. Чован², Т.А. Шангареев¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

***Аннотация.** Предложен метод прогнозирования температуры в горных выработках шахт по концентрациям газов при экзогенных пожарах. Установлены зависимости температуры от скорости воздуха в горных выработках при различных концентрациях оксида углерода.*

***Annotation (Abstract).** A method has been proposed for predicting the temperature in mine workings based on gas concentrations during exogenous fires. The temperature dependence on the air velocity in mine workings has been established for different concentrations of carbon monoxide.*

***Ключевые слова:** шахта; подземные пожары; горная выработка; тепломассообменные процессы.*

***Keywords:** mine; underground fires; mining operations; heat and mass transfer processes.*

За последние 13 лет на шахтах Донбасса произошло более 600 аварий и инцидентов, из них 288 подземных пожаров (50 % всех подземных аварий). Наиболее часто происходили экзогенные пожары, которые осложнялись взрывами газозелдушной смеси, при этом застигнутые аварией люди подвергались угрозе поражения взрывной волной, а также опасности отравления продуктами взрыва.

Исследованиям газовой динамики в шахтах посвящены научные труды [1 – 3]. Предлагаемые ранее методы прогнозирования газовой обстановки в выработках не позволяют осуществлять прогнозирование температуры согласно данным контроля концентраций газов, а также определять скорость распространения очага пожара с учётом термического расширения газов. Поэтому исследование процессов тепломассообмена и разработка метода прогнозирования температуры в аварийных выработках по концентрациям пожарных газов –

актуальная задача и цель исследования.

Используя данные о концентрациях газов, можно определить вид сгорающего вещества K , 1, согласно формуле (1) и таблице 1 [2];

$$K = \frac{CO_2 + CO}{C_0 - C_1}, \quad (1)$$

где CO и CO_2 – концентрации оксида и диоксида углерода, %;
 C_0 и C_1 – объёмные концентрации кислорода на входе и выходе из зоны горения, %.

Также можно определить концентрацию (%) кислорода при горении по формуле

$$C_0 - C_1 = CO_2 + 0,5CO, \quad (2)$$

и текущую температуру в зоне горения (T_i , °C) по формуле

$$T_i = T_0 + \frac{0,01(C_0 - C_1)\tilde{u}H_c}{c(\tilde{u} + 2\tilde{\alpha}l/3)}, \quad (3)$$

где i – номер «информации» о концентрации оксида углерода;
 T_0 – температура до возникновения пожара, °C;
 $\tilde{u}$ – средняя скорость воздуха в горной выработке, м/с;
 H_c – удельная теплота сгорания вещества, кДж/кг;
 c – удельная теплоёмкость воздуха, кДж/(кг·°C);
 $\tilde{\alpha}$ – удельный коэффициент теплообмена со стенками выработки, 1/с;
 l – длина горной выработки аварийного участка, м.

Таблица 1 – Данные для оценки вида сгорающего вещества

Сгорающее вещество	Метан	Уголь, метан, лента	Топливо: уголь, древесина
Согласно формуле (1)	0,5	0,5...1,0	1,0...2,0
Отечественные данные	0,4...0,5	0,5...1,0	1,0
Зарубежные данные	0,4...0,5	0,5...1,0	0,86...1,6

Используя эмпирическую зависимость температуры от скорости

воздуха при горении древесины и полном расходе кислорода (до 1 %) определим исходные параметры из формулы (3). При удельной теплоёмкости воздуха $c = 1,04 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°C)}$ [2] удельная теплота сгорания вещества $H_c = 6250 \text{ кДж/кг}$ и значение $2\tilde{a}l/3 = 0,25 \text{ м/с}$. Примем, что температура до пожара $T_0 = 20 \text{ °C}$. Объединив формулы (2) и (3), получим

$$T_i = T_0 + \frac{60,1(CO_2 + 0,5CO)\tilde{u}}{\tilde{u} + 0,25}. \quad (4)$$

Получив информацию о концентрациях оксида углерода, по формуле (1) можно установить текущую температуру в зоне горения. На рисунке 1, согласно формуле (4), представлены зависимости температуры от скорости воздуха в горных выработках при различных концентрациях оксида углерода (кружочками обозначены данные, полученные в условиях штольни при изучении динамики развития экзогенного пожара). Относительная погрешность результатов исследований и экспериментов не более 15 %.

Согласно данным контроля можно определить скорость развития пожара и прогнозировать время выхода температуры на максимум. С этой целью для времени с момента возникновения пожара, τ_1 , с, и времени τ_2 , с, по мере прихода информации о концентрации диоксида углерода начальной (ΔC_2) и конечной (ΔC_3) находим согласно (4) два значения температуры на входе (T_1) и на выходе в (из) выработки (T_2).

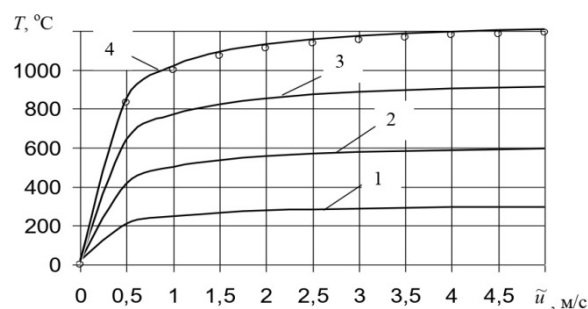


Рисунок 1 – Зависимости температуры от скорости воздуха в горных выработках при различных концентрациях оксида углерода:
1 – 5 %, 2 – 10 %; 3 – 15 %; 4 – 20 %

Принимая, что для развитого пожара $CO_2 + CO = 20 \%$, находим по формуле (4) предельную температуру в зоне горения $\bar{T}_n$, °C. Используем формулу из работы [3]:

$$\exp(T_n e \tau / T_0) = \frac{(T_n - T_0)}{T_0(T_n / T - 1)}, \quad (5)$$

где $\bar{T}_n$ – предельная температура в зоне горения, °С;

$e = \tilde{u} / l + \tilde{\alpha}$ – показатель скорости развития пожара, 1/с;

τ – приведенное время с момента возникновения пожара, с.

Для двух отрезков времени и двух температур согласно формуле (5) получим

$$\exp[T_n e (\tau_2 - \tau_1) / T_0] = \frac{T_n / T_1 - 1}{T_n / T_2 - 1}, \quad (6)$$

Логарифмируя уравнение (6), найдём показатель скорости развития пожара

$$e = \frac{T_0 / T_n}{\tau_2 - \tau_1} \ln \left(\frac{T_n / T_1 - 1}{T_n / T_2 - 1} \right). \quad (7)$$

Время выхода на предельную температуру, когда возникают наиболее опасные встречные потоки пожарных газов [3], определим, используя зависимость (5). Примем, что стадия развитого пожара наступает, когда температура отличается от предельной на 10 % ($T = 0,9 T_n$). В этом случае уравнение (5) представим в виде

$$\exp(T_n e \tau_n / T_0) = \frac{T_n - T_0}{0,1 \cdot T_0}. \quad (8)$$

где τ_n – время выхода температуры на стационарный режим, с

Формула для расчёта времени наступления развитого пожара из уравнения (8)

$$\tau_n = \frac{T_0}{T_n e} \ln \left(\frac{T_n - T_0}{0,1 \cdot T_0} \right). \quad (9)$$

Предложен метод прогнозирования температуры в горных выработках по концентрациям пожарных газов. Установлены зависимости температуры среды от скорости воздуха в выработках при различных концентрациях оксида углерода.

Перечень ссылок

1. Ушаков, К.З. Газовая динамика шахт / К.З. Ушаков. – Москва: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 481 с.
2. Греков, С.П. Теплофизические процессы в горных выработках при экзогенных пожарах / С.П. Греков, С.Н. Смоланов, Н.С. Почтаренко [и др.] // Горноспасательное дело. – 2000. – № 37. – С. 39-46.
3. Кравченко, Н.М. Расчёт концентрации метана в сети горных выработок с учётом влияния встречных газовых потоков / Н.М. Кравченко, М.В. Кравченко // Горноспасательное дело. – 2013. – № 50. – С. 44-49.

УДК 622.012:004.85

**ПРОГНОЗ ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ
НА ОСНОВЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Я.Д. Зозуля, Ю. А. Петренко, А.Л. Касьяненко
ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк

***Аннотация:** В статье рассматривается задача прогнозирования вероятности выдавливания пород почвы на основе горно-геологических факторов в условиях Донбасса с использованием машинного обучения. Для этого разработана модель машинного обучения на основе алгоритма Random Forest.*

***Annotation:** The article addresses the problem of predicting the probability of floor rock extrusion based on mining and geological factors in the conditions of Donbas using machine learning. For this purpose, a machine learning model based on the Random Forest algorithm has been developed.*

***Ключевые слова:** горные выработки, прогнозирование, машинное обучение, Random Forest, выдавливание пород.*

***Keywords:** mine workings, prediction, machine learning, Random Forest, rock extrusion.*

На сегодняшний день ведение горных работ на большинстве шахт Донбасса приостановлено, предприятия функционируют в режиме водоотлива. В связи с инвестиционной непривлекательностью, многие шахты ожидает ликвидация [1]. Вместе с тем, часть шахт является перспективной для консервации, поскольку при улучшении экономической конъюнктуры их эксплуатация может быть возобновлена [2].

Одной из основных задач при консервации угольных шахт является комплексная оценка состояния горных выработок и прогнозирование их поведения в долгосрочной перспективе. Анализ эксплуатационного состояния действующих горных выработок шахт ГУП ДНР «МАКЕЕВУГОЛЬ» за пять лет показал, что в среднем 19% действующих горных выработок не удовлетворяют требования ПБ. При этом ухудшение состояния выработок из-за процесса выдавливания пород почвы достигает 78% от общего объема деформированных выработок. Данные об эксплуатационном состоянии действующих горных выработок приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Эксплуатационное состояние действующих горных выработок шахт ГУП ДНР «МАКЕЕВУГОЛЬ»

Год	Протяженность действующих горных выработок	Не соответствуют ПБ				
		По сечению, м	По высоте, м	По зазорам, м	ВСЕГО	
					м	%
2019	308737	38900	1560	14206	54666	17,7
2020	276443	41021	1845	14105	56971	20,6
2021	267006	39166	1641	13715	54522	20,4
2022	244857	35561	1472	10416	47449	19,4
2023	231032	21123	1235	11547	33905	14,7

Таким образом, разработка и внедрение методов интеллектуального анализа данных для оценки риска выдавливания пород почвы является актуальным и практически значимым направлением, напрямую связанным с задачами повышения надёжности и безопасности процессов консервации шахт.

Нейросетевые и другие машинно-обучающие методы все активнее внедряются в горном деле для решения практических задач прогнозирования и моделирования. Нейронные сети обладают способностью аппроксимировать сложные нелинейные зависимости и устойчивы к «проклятию размерности», что позволяет им работать с большим числом признаков одновременно [3].

Цель данного исследования – построение и оценка прогнозной модели для бинарного целевого признака: «выдавливание пород почвы».

Для достижения поставленной цели использован метод – Random Forest. Это широко распространенный алгоритм машинного обучения, разработанный Лео Брейманом и Адель Катлер, который объединяет выходные данные множества деревьев решений для получения единого результата. Его простота в использовании и гибкость способствовали широкому распространению, так как он решает как задачи классификации, так и задачи регрессии [4]. Такой подход эффективно выявляет нелинейные зависимости между признаками и целевыми метками, обеспечивает устойчивость к переобучению и высокую точность классификации.

Для прогноза геомеханических процессов, целесообразно использовать обширный статистический материал, собранный в результате многолетних наблюдений на шахтах и обобщающий накопленный производственный опыт разработки угольных пластов. Такая информация геологических и маркшейдерских служб угольных шахт представлена в систематизированном виде в Каталоге [5]. Каталог

шахтопластов Донецкого бассейна составлен по единой методике. Он построен по схеме бассейн→производственное объединение→шахта-пласт и включает сведения по горно-геологическим условиям выемки 699 шахтопластов, разрабатываемых на 296 шахтах. Для каждого шахтопласта приведены 54 показателя, характеризующих 34 горно-геологических фактора и явления, а также указаны типы шахтопластов по основным факторам и явлениям.

Итоговый исходный набор данных для обучения модели содержал 699 строк с наблюдениями по угольным пластам включающих 50 признаков, включающих геологические (вмещающие породы, прочностные характеристики), структурные (углы залегания, информация о тектонических нарушениях) и классификационные (типы пород и т.п.) параметры.

Некоторые признаки в исходной таблице могли быть представлены в текстовом формате, для их преобразования применялась функция перевода строк в числа, после чего столбцы получили числовой тип. Категориальные признаки кодировались целочисленными метками. В качестве целевой переменной был определен бинарный столбец: метка наличия выдавливания пород почвы.

Выборка была случайным образом разделена на обучающую и тестовую части в пропорции 80/20 с сохранением баланса классов, то есть соотношение объектов с наличием и отсутствием выдавливания пород почвы сохранялось как в обучающей, так и в тестовой выборках. Для прогнозирования вероятности выдавливания пород почвы использовался алгоритм машинного обучения Random Forest – ансамблевый классификатор на основе деревьев решений. Обучение модели проводилось с фиксированным параметром `random_state = 42`, который задаёт начальное состояние генератора случайных чисел и обеспечивает воспроизводимость результатов эксперимента при повторном запуске программы. Для оценки обобщающей способности модели использовались методы кросс-валидации и отложенной тестовой выборки.

Качество классификации оценивалось с помощью стандартного набора метрик: `assigasy` (доля правильно классифицированных примеров), `precision` (точность – доля правильно предсказанных положительных примеров среди всех предсказанных как положительные), `recall` (полнота – доля правильно обнаруженных положительных примеров среди всех фактических положительных), `F1-score` (гармоническое среднее `precision` и `recall`), а также площадь под ROC-кривой (`ROC AUC`). Кроме того, анализировалась матрица

неточностей (confusion matrix) для каждой задачи: матрица суммирует количество истинно и ложно классифицированных объектов по всем классам. Для вычисления метрик использовались функции библиотеки scikit-learn.

Основным результатом исследования стало создание и апробация модели для прогноза бинарного целевого признака: «выдавливание пород почвы» на основе реальных производственных данных с использованием алгоритма Random Forest. Модель показала сбалансированную работу: Accuracy = 0,733, ROC AUC = 0,745, F1-score = 0,731. Модель демонстрирует сопоставимую эффективность для обоих классов, что подтверждает ее практическую применимость для оценки рисков выдавливания пород почвы.

Выводы. Созданная модель для прогноза выдавливания пород почвы подтвердила свою результативность, а разработанный подход на основе алгоритма Random Forest может рассматриваться как практический инструмент для прогнозирования геомеханических процессов в горных выработках при консервации шахт.

Перечень ссылок

1. Половину шахт Донбасса планируют закрыть из-за нерентабельности. // Электронное периодическое издание «Парламентская газета» [сайт]. – URL: <https://www.pnp.ru/economics/polovinu-shakht-donbassa-planiruyut-zakryt-iz-za-nerentabelnosti.html> (дата обращения: 09.05.2026).
2. Зозуля, Я. Д. Возможные пути реструктуризации угольной промышленности Донбасса и факторы на нее влияющие / Ю. А. Петренко, А. Л. Касьяненко, Я. Д. Зозуля // Инновационные перспективы Донбасса : материалы 10-й Международной научно-практической конференции, Донецк, 28–30 мая 2024 года. – Донецк: ДонНТУ, 2024. – С. 159-162.
3. Мальцев Е.Н. Нейросетевые технологии обработки данных для решения практических задач / Мальцев Е.Н. [Электронный ресурс] // Золото и технологии : [сайт]. – URL: https://zolteh.ru/technic/neyrosetevye_tekhnologii_obrabotki_dannykh_dlya_resheniya_prakticheskikh_zadach_prognozirovaniya_v_kh/ (дата обращения: 09.05.2026).
4. Eda Kavlakoglu What is random forest? / Eda Kavlakoglu [Электронный ресурс] // IBM : [сайт]. – URL: <https://www.ibm.com/think/topics/random-forest#:~:text=Random%20forest%20is%20a%20commonly,both%20classification%20and%20regression%20problems> (дата обращения: 09.05.2026).
5. Каталог шахтопластов Донецкого угольного бассейна с характеристикой горно-геологических факторов и явлений [Текст] / Москва: Институт горного дела им. А.А. Сковинского, 1982. – 268 с.

УДК 622.457.36:622.831.322

**ПРОВЕТРИВАНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
АВАРИЙНЫХ УЧАСТКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ
ПРИ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСАХ УГЛЯ, ПОРОДЫ ИЛИ ГАЗА**

А.Л. Кавера¹, А.В. Агарков^{1,2}, Р.А. Тишин^{1,2}, Д.Р. Тишин¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Даны рекомендации по проветриванию горных выработок аварийных участков шахт после внезапных выбросов угля, породы и газа. Предложены методы и средства увеличения расхода воздуха для разгазирования выработок. Представлен метод выбора (определения) вариантов проветривания аварийных участков исходя из расчета на компьютерной модели вентиляционной сети шахты.

Annotation (Abstract). Recommendations are provided for ventilation of mine workings in emergency areas following sudden coal, rock, and gas outbursts. Methods and means for increasing air flow for degassing the workings are proposed. A method for selecting (determining) ventilation options for emergency areas based on calculations using a computer model of the mine ventilation network is presented.

Ключевые слова: шахта; аварийный участок; внезапные выбросы угля, породы и газа; аварийные режимы проветривания.

Keywords: mine; emergency area; sudden outbursts of coal, rock and gas; emergency ventilation modes.

Внезапные выбросы – одна из опасных и сложных аварий в угольных шахтах, в результате которых угольная отрасль несет убытки, и имеют место человеческие жертвы. В основном это обусловлено физическим травмированием людей выброшенной горной массой и нарушением проветривания выработок, формированием в них взрывоопасной и непригодной для дыхания среды не только в период выброса, но и после него [1].

Согласно статистическому анализу аварий и аварийных ситуаций с 2000 по 2025 гг., на угольных шахтах Донбасса произошло 2120 аварий и аварийных ситуаций, среди них 46 внезапных выбросов (в среднем, 2 внезапных выброса в год) [2].

Ведение горноспасательных работ в загазованных выработках

сопряжено с возможностью взрыва газовой смеси и асфиксии людей. Поэтому исследования, посвященные обеспечению безопасности при ликвидации последствий выбросов, а также смежным вопросам горноспасательных работ, являются актуальными.

На основании выполненного анализа установлено, что фактически в горные выработки действующих шахт Донбасса, разрабатывающих выбросоопасные пласты, подается расчетное и выше расчетного количество воздуха, коэффициент обеспеченности колеблется в широких пределах и в среднем составляет 1,33, то есть на действующих шахтах уже имеются фактические резервы воздуха, которые могут быть использованы для проветривания и дополнительной подачи воздуха на аварийный участок.

Среди факторов, влияющих на проветривание выработок после выбросов, которые происходят на выемочных участках и в подготовительных выработках, следует отметить увеличение аэродинамического сопротивления выработок за счет уменьшения их сечений выброшенной горной массой, выделение дополнительного объема метана, который создает динамический и гравитационный напоры, нарушение режима проветривания участка и др.

На рис. 1 представлены примеры заполнения продуктами выброса поперечного сечения выработок при внезапном выбросе и сплошной системе разработки, при которой происходит наибольшее количество выбросов.

Установлено, что обеспечение подачи необходимого количества воздуха на аварийный участок после внезапного выброса может быть достигнуто путем:

- раскрытия на аварийном участке регуляторов расхода воздуха (при их наличии);
- использования вентиляторов местного проветривания с трубопроводами;
- снижения подачи воздуха на второстепенные объекты;
- использования фактических внутренних резервов воздуха на других объектах вентиляционной сети;
- перевода режима работы работающего вентилятора главного проветривания на более высокую аэродинамическую характеристику;
- использования шахтной пневмосети (для местного проветривания и обеспечения дыхания работников шахты, застигнутых на аварийном участке);
- ликвидации завалов в аварийных выработках, уборки выброшенной горной массы, проведения выработок небольшого сечения для поиска пострадавших и усиления проветривания за счет общешахтной депрессии;

– комбинации вышеперечисленных способов.

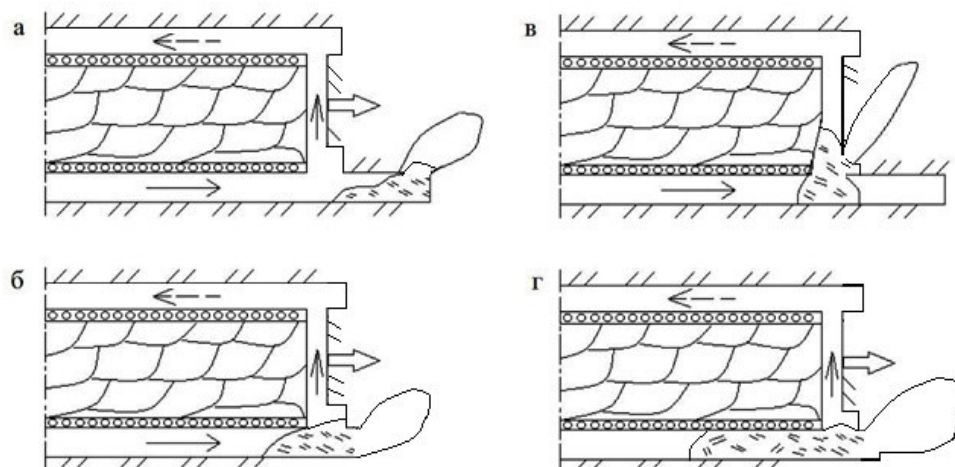


Рис. 1. Примеры сплошной системы разработки с различной степенью заполнения продуктами выброса поперечного сечения выработок после внезапного выброса угля, породы и газа:

а – при выбросе в конвейерном (откаточном) штреке и значительном опережении забоя тупиковой выработки; б – при выбросе в конвейерном (откаточном) штреке и опережении забоя тупиковой выработки до 6 м; в – при выбросе в очистном забое; г – при мощном выбросе в конвейерном (откаточном) штреке

Выбор вариантов проветривания аварийных участков на современном этапе следует осуществлять исходя из расчета вентиляционной сети с использованием компьютерных моделей. В качестве примера на основе модели вентиляционной сети Филиала «Шахта имени А.А. Скочинского» ГУП ДНР «ДУЭК» выполнен расчет воздухо- и газораспределения на условно аварийном участке 3-й восточной лавы уклонного поля центральной панели при моделировании внезапного выброса в нижней нише. Результаты расчета вентиляционной сети условно аварийного участка на компьютерной модели представлены на рис. 2: нормальный режим (а), при перекрытии поперечного сечения выработки выброшенной горной массой на 50 (б).

При расчете на компьютерной модели должны учитываться такие параметры, как длина выработок, процент уменьшения поперечного сечения выработок выброшенной горной массой, расход воздуха по аварийному участку, температура и концентрации метана (начальные и фактические значения) в выработках.

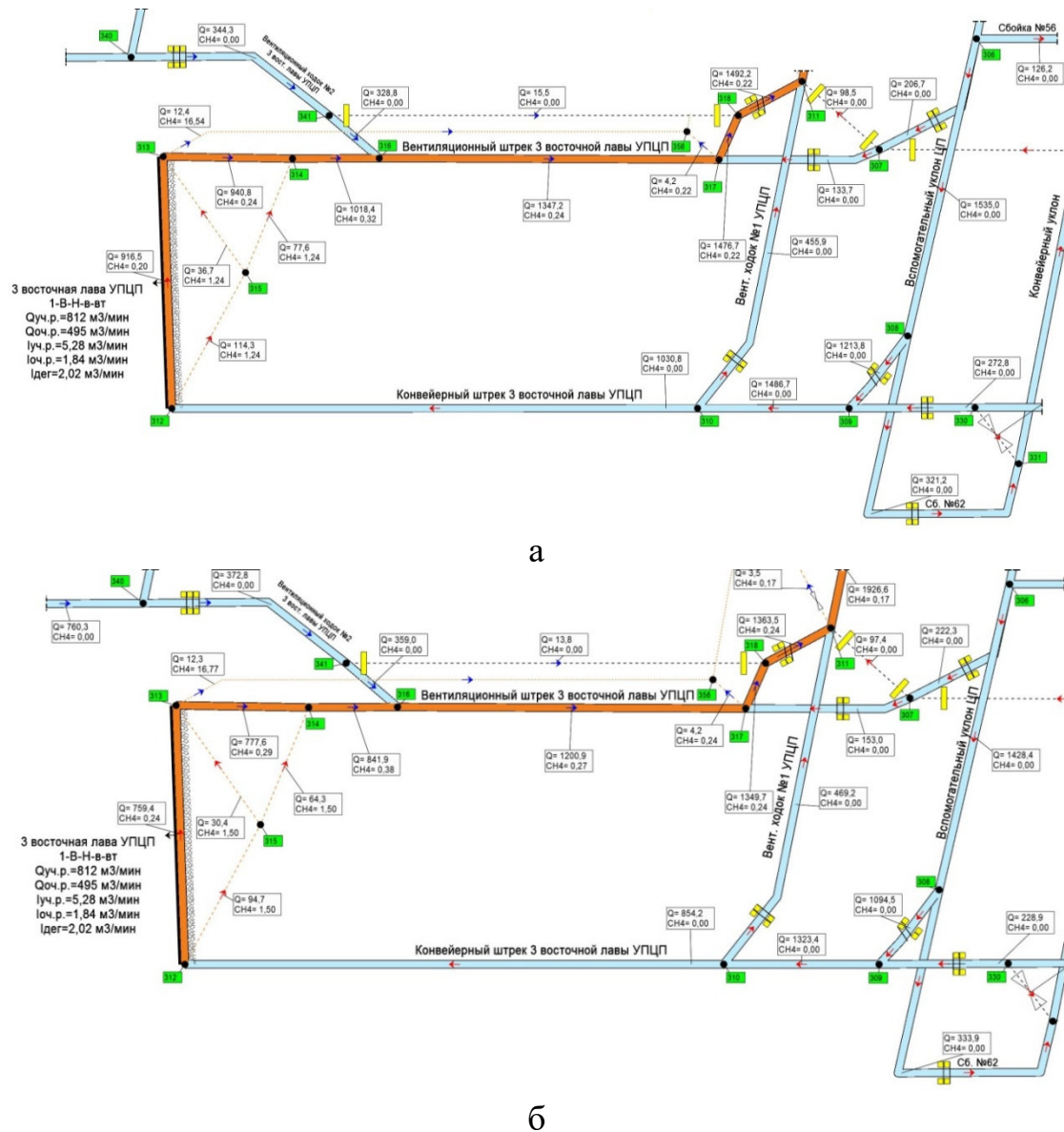


Рис. 2. Результаты расчета воздухо- и газораспределения на компьютерной модели вентиляционной сети условно аварийного участка

Филиала «Шахта имени А.А. Скочинского» ГУП ДНР «ДУЭК»:

а – воздухо- и газораспределение по участку в нормальном режиме;

б – воздухо- и газораспределение по участку при перекрытии выброшенной горной массой на 50 % поперечного сечения выработки

Использование компьютерных моделей шахтных вентиляционных сетей и проведение соответствующих расчетов позволяют выполнять более достоверное прогнозирование воздухо- и газораспределения на аварийном участке шахты при различных объемах выброшенной горной массы и разрабатывать соответствующие мероприятия по ведению аварийно-спасательных работ.

Таким образом, даны рекомендации по проветриванию горных выработок аварийных участков шахт после внезапных выбросов угля, породы и газа. Предложены методы и средства увеличения расхода воздуха для разгазирования выработок. Представлен метод выбора (определения) вариантов проветривания аварийных участков исходя из расчета на компьютерной модели вентиляционной сети шахты.

Перечень ссылок

1. Агеев, В.Г. Газовыделение из отторженного от массива угля и формирование взрывоопасных зон при внезапных выбросах угля и газа в тупиковых горных выработках // В.Г. Агеев, С.П. Греков, И.Н. Зинченко // Проблемы горного производства: сб. / Институт физики горных процессов НАН. – Донецк, 2013. – № 13. – С. 126-132.
2. Симонов, А.М. Обеспечение безопасности ведения аварийно-спасательных работ в шахтах после внезапных выбросов / А.М. Симонов, Н.В. Карнаух [и др.] // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: журн. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2022. – № 2(59). – С. 82-93.

УДК [622.867:622.414.32]: 519.17

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГРАФОВ ПРИ ВЕДЕНИИ
ДЕПРЕССИОННЫХ СЪЕМОК В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

А.Л. Кавера¹, А.В. Агарков^{1,2}, Е.И. Горбачева¹, М.К. Жогло¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Дана оценка актуальности повышения качества депрессионных съемок для совершенствования вентиляции шахт, сокращения трудоемкости работ за счет упрощения методов проведения депрессионных съемок путем использования математических методов и компьютерного моделирования. Предложен алгоритм выбора оптимального множества горных выработок для измерения давления и расходов воздуха, позволяющий минимизировать затраты труда и времени на съемку.

Annotation (Abstract). The article assesses the relevance of improving the quality of depression surveys for improving the ventilation of mines and reducing the labor intensity of work by simplifying the methods of conducting depression surveys using mathematical methods and computer modeling. The article proposes an algorithm for selecting the optimal set of mine workings for measuring pressure and air flow, which allows minimizing the labor and time required for the survey.

Ключевые слова: шахта; депрессионная съемка; скорость и расход воздуха; аэродинамическое сопротивление горных выработок и вентиляционных сооружений; компьютерная модель вентиляционной сети шахты; теория графов.

Keywords: mine; depression survey; air velocity and flow rate; aerodynamic resistance of mine workings and ventilation facilities; computer model of the mine ventilation network; graph theory.

Современные вентиляционные сети угольных шахт Донбасса представляют собой сложные диагональные соединения горных выработок, имеют несколько вентиляторов главного и местного проветривания, большое количество различных вентиляционных сооружений, очистных и подготовительных забоев, в которых сложно организовать стабильное проветривание основных объектов [1 – 4].

Актуальная научно-техническая задача – повышение качества депрессионных съемок для совершенствования вентиляции шахт, сокращение трудоемкости работ за счет упрощения методов проведения депрессионных съемок путем использования расчетных методов, математического и компьютерного моделирования.

Организация проветривания современных шахт – многофакторная задача, трудоемкость решения которой обусловлена сложностью вентиляционной сети горных выработок. Количество и протяженность горных выработок постоянно меняются по мере эксплуатации шахты, разрабатывают новые выемочные участки, появляются новые и дополнительные выработки, изменяются параметры выработанных пространств, возводят вентиляционные сооружения. В результате меняется аэродинамическое сопротивление шахты в целом и частично – по горизонтам, панелям и отдельным выработкам. Знание этих изменений дает возможность корректировать режимы работы источников тяги и вентиляционных устройств, обеспечивая подачу нормативного количества свежего воздуха на каждый из участков шахты. Аэродинамические сопротивления горных выработок определяют их тип и размер, однако на практике значительно влияют на потери давления местные сопротивления, теоретическое определение которых, как правило, не представляется возможным. К их числу относятся, прежде всего, уменьшение или увеличение сечения выработок, вызванные наличием зон обрушения породы, горного оборудования и вентиляционных сооружений, а также, в меньшей степени, изгибами и сопряжениями выработок. Поэтому регулярные плановые депрессионные съемки – актуальные мероприятия для получения достоверной информации о текущем аэродинамическом состоянии вентиляционной сети шахты.

Снижение трудоемкости работ и времени на проведение депрессионной съемки может быть достигнуто за счет применения метода математического аппарата теории графов (построения дерева графа, не имеющего замкнутых контуров) [5]. Данный метод позволяет сократить измерения депрессии и расхода воздуха примерно в одной трети ветвей шахтной вентиляционной сети и характеризуется следующим образом. Вентиляционная сеть шахты представляет собой связный ориентированный граф. Для повышения точности измерений замерные станции располагают в выработках, наиболее приемлемых для измерений поперечных сечений, скорости движения воздуха и депрессии (в основных выработках, подающих воздух на выемочные участки и в очистные забои, и в исходящих струях из них), где более

точно можно определить депрессию и расход воздуха.

Выбор главного дерева ациклического графа производится таким образом, чтобы не образовывалось замкнутых контуров, а именно через действующий очистной забой по выработкам, расходы воздуха в которых можно измерить с большой точностью. Для получения необходимых параметров в данной системе выработок достаточно измерить депрессии в ветвях дерева сети (рис. 1).

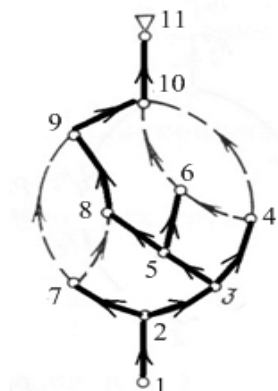


Рис. 1. Ациклическое связанное направленное дерево графа части вентиляционной сети:

1 – 2, 2 – 3, 2 – 7, 3 – 4, 3 – 5, 5 – 6, 5 – 8, 8 – 9, 9 – 10, 10 – 11 – ветви дерева; 7 – 8, 7 – 9, 4 – 6, 4 – 10, 6 – 10 – ветви связи

В выработках-связях, замыкающих контуры, депрессию рассчитывают по уравнению равенства депрессии в контурах и расходов воздуха в узлах. При необходимости измеряют скорость движения воздуха в отдельных ветвях. Данный метод обеспечивает полный охват выработок вентиляционной системы при минимальном количестве измерений.

Пример: потеря депрессии в ветви 7 – 8, без измерения, определяют из уравнения: $h_{7-8} = h_{2-3} + h_{3-5} + h_{5-8} - h_{2-7}$; в ветви 4 – 6: $h_{4-6} = h_{3-5} + h_{5-6} - h_{3-4}$.

На примере шахты им. М. Горького, фрагмент вентиляционной сети которой представлен на рис. 2, выполнен расчет депрессии и расхода воздуха.

Пример 1. Расчет депрессии ветви h_{226} , даПа:

$$h_{226} = h_{228} + h_{111} - h_{227}; \quad (1)$$

$$h_{226} = 0,057 + 0,028 - 0,071 = 0,014 \text{ даПа},$$

что подтверждают измерения.

Пример 2. Расчет депрессии ветви h_{107} , даПа:

$$h_{107} = h_{110} - h_{108} - h_{111}; \quad (2)$$

$$h_{107} = 29,264 - 2,993 - 0,028 = 26,243 \text{ даПа},$$

что подтверждают измерения.

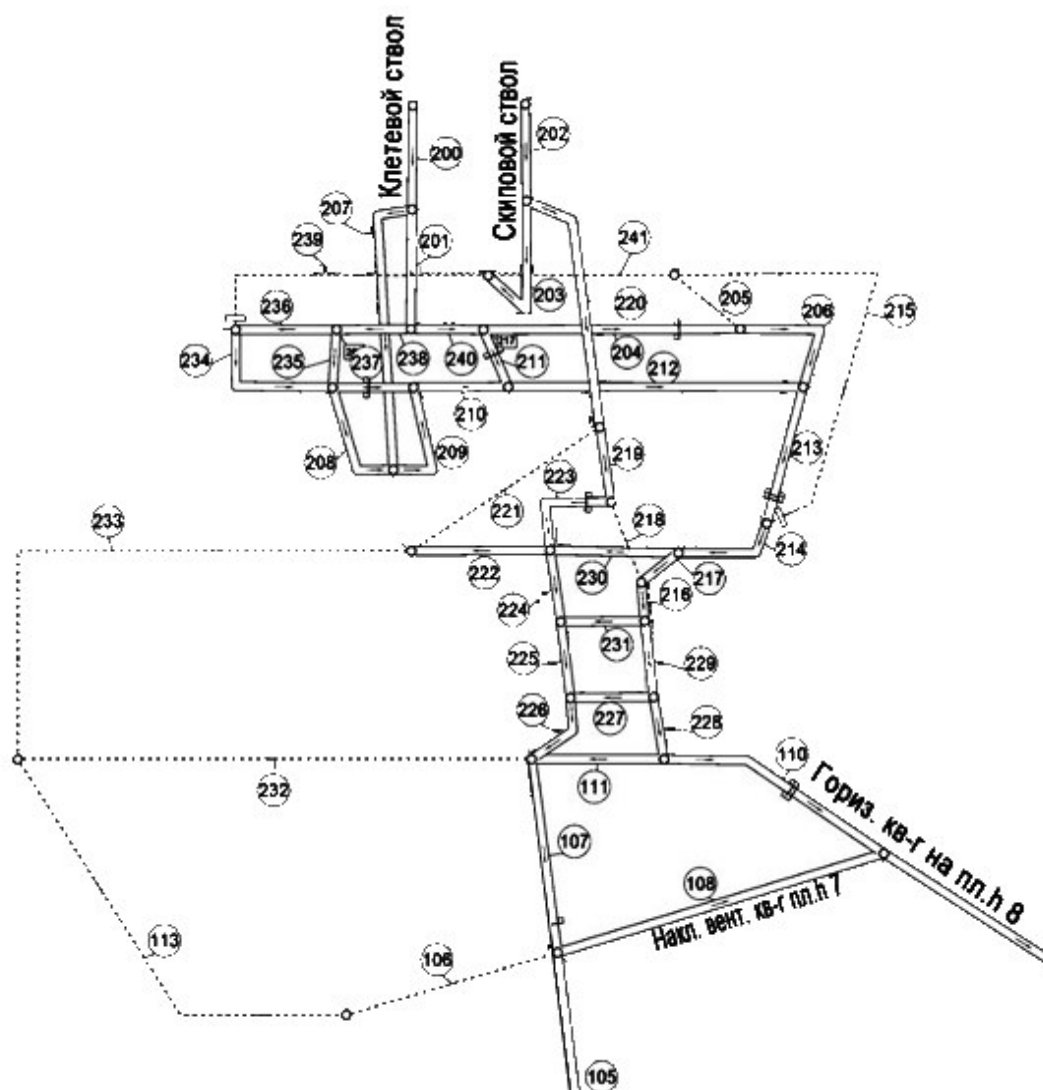


Рис. 2. Фрагмент схемы проветривания шахты им. М. Горького

Определяют количество воздуха по формуле

$$h_b = R_b Q_b^2, \quad (3)$$

где h_b – депрессия выработки, даПа;

R_b – аэродинамическое сопротивление выработки, даПа·с²/м⁶;

Q_b – расход воздуха в выработке, м³/с.

Соответственно расход воздуха в выработке находим по формуле

$$Q_b = \sqrt{\frac{h_b}{R_b}}. \quad (4)$$

Пример 3. Для фактического определения внутренней утечки воздуха Q , м³/с, в шахте (ветвь 232), руководствуясь правилом сложения векторов, необходимо выполнить практические измерения количества воздуха в выработках 226, 111, 107:

$$Q_{232} = Q_{226} + Q_{111} - Q_{107}; \quad (5)$$

$$Q_{232} = 5,43 + 2,51 - 3,60 = 4,34 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Пример 4. Для фактического определения внутренней утечки воздуха Q , м³/с, в шахте (ветвь 106) необходимо выполнить измерения количества воздуха в выработках 105, 107, 108:

$$Q_{106} = Q_{108} - Q_{107} - Q_{105}; \quad (6)$$

$$Q_{106} = 16,81 - 3,60 - 6,63 = 6,58 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Таким образом, метод графов при ведении депрессионной съемки шахты нагляден и рекомендован для весьма простых участков вентиляционных сетей.

Сокращение времени на выполнение депрессионной съемки достигается за счет применения метода математического аппарата теории графов (построения дерева графа, не имеющего замкнутых контуров). Это позволяет снизить трудоемкость проведения депрессионной съемки шахты до 30 % ветвей шахтной вентиляционной сети.

Точность метода графов во многом зависит от правильности выбора дерева графа. В отдельных случаях для сложных сетей непосредственное измерение депрессии в ветвях-связях может быть более точным и простым, а эффект от применения снизится до 10...15 %.

Перечень ссылок

1. Карнаух, Н. В. Совершенствование нормативного и организационно-методического обеспечения для проведения воздушно-депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах / Н. В. Карнаух, В. В. Захлебн, А. В. Агарков

// Вестник Академии гражданской защиты. – Донецк. – 2018. – № 4(16). – С. 136 – 144.

2. Воздушно-депресссионные съемки на новой технической основе / Г. Л. Верещагин, С. В. Спирин, В. Н. Егоров [и др.] // Уголь. – 2007. – № 12. – С. 21 – 22.

3. Верещагин, Г. Л. Современные средства аэрогазового контроля рудничной атмосферы угольных шахт / Г. Л. Верещагин, В. Н. Егоров, А. Н. Дмитриенко // Безопасность труда в пром-сти. – 2010. – № 1. – С. 17–19.

4. Казаков, Б.П. Интерактивный метод планирования проведения и обработки результатов воздушно-депресссионной съемки рудника / Б.П. Казаков, А.В. Шалимов // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – Тула, 2018. – № 3. – С. 248 – 256.

5. Харари, Ф. Теория графов / Ф. Харари. – М. : Мир, 2003. – 300 с.

УДК 622.457.2/3

**ПРОВЕТРИВАНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
МАЛЫХ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ПРИ ВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ
ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОЙ СЛУЖБЫ**

А.Л. Кавера¹, А.В. Агарков^{1,2}, Е.Б. Николаев¹, Н.С. Захаров¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Приведены рекомендации по выбору методов и технических средств проветривания горных выработок малых угледобывающих предприятий при ведении аварийно-спасательных работ подразделениями ФГКУ «ВГСЧ ДНР».

Abstract. Recommendations are given for the selection of methods and technical means for ventilation of mine workings of small coal mining enterprises during mine rescue operations by units of the Federal State Budgetary Institution "VGSCCh DPR".

Ключевые слова: горная выработка; малые угледобывающие предприятия, проветривание, горноспасательные работы.

Keywords: mine workings; small coal mining enterprises, ventilation, mine rescue operations.

Безопасность ведения горноспасательных работ на малых угледобывающих предприятиях (копанках, артелях) связана с их распространением в Донецкой Народной Республике, расположением на значительном удалении от дорог и коммуникаций, малыми сечениями горных выработок, отсутствием проветривания, высоким травматизмом и другими факторами.

Вопрос о проветривании малых угледобывающих предприятий при ведении горноспасательных работ в нормативных документах не освещается. Последние исследования относятся к разгазованию выработок в аварийных условиях шахт [1] и определению аэродинамических параметров вентиляционных трубопроводов [2].

Малые угледобывающие предприятия характеризуются удаленным расположением источников энергии и транспортных коммуникаций, небольшой глубиной разработки, отработкой запасов в зоне газового выветривания пластов, малыми площадями (1,5...6 м²) поперечного сечения выработок, тупиковыми схемами проветривания

с одним выходом на земную поверхность, отсутствием управляемой системы проветривания, что становится основной причиной взрывов метана и асфиксии, практически полным разрушением имеющейся системы проветривания при авариях (взрывы, обрушения). В целом за последние пять лет на 21 предприятии травмировано 37, из них погибло 24 человека, в том числе: при взрывах метана – 9 травмировано и 3 смертельно, обрушениях – 5 смертельно, от асфиксии – 1 травмирован и 9 смертельно. Рассмотренные условия и травматизм требуют выбора средств проветривания малых угледобывающих предприятий, источников автономной энергии, способов оперативной их доставки к месту аварии, обеспечения безопасности горноспасателей.

Проветривание малых угледобывающих предприятий при ведении аварийно-спасательных работ нагнетательным способом с применением вентиляторов местного проветривания (далее – ВМП) и гибких вентиляционных трубопроводов малого диаметра наиболее эффективно и безопасно [1, 2]. Основные параметры электрических и пневматических ВМП представлены в таблицах 1 и 2.

Выполнены расчеты необходимого расхода воздуха для проветривания малых угледобывающих предприятий при ведении аварийно-спасательных работ по основным факторам (выделению метана или диоксида углерода, минимальной скорости движения воздуха в основной выработке и максимальному количеству работающих в забое горнорабочих и горноспасателей), и принят максимальный из расчетных. Расход воздуха в забое при расчете по: людям (5 чел.) составил 30,0 м³/мин, минимальной скорости при площади сечения выработки 6 м² – 54,0 м³/мин и выделению метана (0,5 м³/мин) – 50,0 м³/мин (принят максимальный).

Фактическую подачу свежего воздуха в забой определяют по аэродинамическим характеристикам ВМП и трубопровода (рис. 1).

Подача свежего воздуха в забой (фактическая) при работе ВМП на одно сопло составляет 63,5 м³/мин, на два сопла – 75,0 м³/мин, а на три сопла – 93,0 м³/мин (с достаточным резервом).

Значения аэродинамического сопротивления при расчетах, следующие: для поворота трубопровода на 90° эквивалентная длина трубопровода 20 м, а для поворота на 45° – 10 м. Аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода $R_{тр}$, даПа·с²/м⁶, определяют по формуле

$$R_{тр} = r_{тр} (l_{тр} + 20d_{тр}n_1 + 10d_{тр}n_2), \quad (1)$$

где $r_{\text{тр}}$ – удельное аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода, $\text{даПа} \cdot \text{с}^2/\text{м}^7$;

$l_{\text{тр}}$ – длина трубопровода, м;

$d_{\text{тр}}$ – диаметр трубопровода, м;

n_1 и n_2 – количество поворотов трубопровода на 90 и 45°.

Таблица 1 – Параметры пневматических ВМП

Параметр	Значение параметра для ВМП				
	ВКМ-200А	ВМП-3М	ВМП-4	ВМП-5М	ВМП-6М
Выходной диаметр патрубка, мм	200	300	400	500	600
Подача, $\text{м}^3/\text{мин}$	18...35	25...100	45...160	80...280	120...480
КПД	0,19	0,24	0,26	0,30	0,35
Давление, даПа	108...40	118...40	215...40	196...50	285...60
Мощность на валу, кВт	0,7	2,0	5,0	9,0	24,0
Расход сжатого воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$	1,2	3,0	5,0	8,0	20,0
Масса, кг	10	50	70	175	277

Таблица 2 – Параметры электрических ВМП

Параметр	Значение параметра для ВМП				
	СВМ-4М	ВМ-200	ВМ-4М	ВМ-5М	ВМ-6М
1	2	3	4	5	6
Рабочее колесо: – диаметр, мм	400	550	400	500	600
– частота вращения, мин^{-1}	2880	2850	2900	2940	2950
Подача, $\text{м}^3/\text{мин}$	55...135	120...225	155...50	380...100	480...140
Давление, даПа	100...40	125...35	145...70	240...60	340...75
Максимальная мощность, кВт	2,2	6,7	3,8	13,0	22,5

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Максимальный КПД	0,59	0,57	0,72	0,75	0,76
Габариты, мм:					
– длина	510	805	740	935	1050
– ширина	555	635	550	650	730
– высота	565	704	560	670	750
Масса, кг	88	200	140	250	350

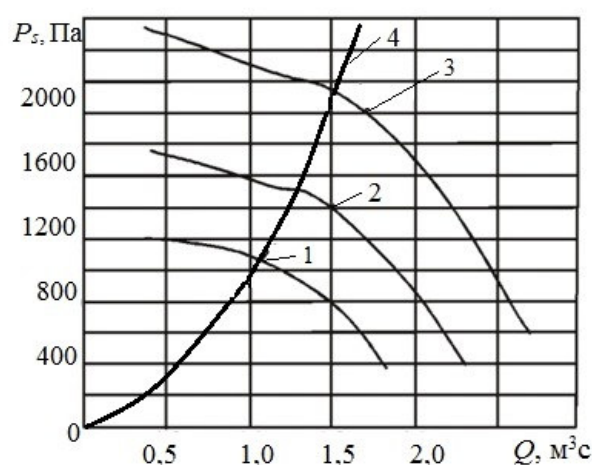


Рис. 1. Аэродинамическая характеристика ВМП-4 при давлении сжатого воздуха 0,5 МПа с вентиляционным трубопроводом диаметром 400 мм: Q – подача ВМП; P_s – статическое давление; 1, 2, 3 – аэродинамические характеристики ВМП-4 при работе одного, двух и трех сопел; 4 – аэродинамическая характеристика трубопровода диаметром 400 мм

Коэффициент утечек воздуха $k_{ут.тр}$ зависит от типа и материала трубы, длины звеньев, расхода воздуха, наличия швов и их качества.

Для трубопроводов, диаметром 400 мм, коэффициент утечек воздуха $k_{ут.тр}$ определяют по формуле

$$k_{ут.тр} = 1 + 1,78 \cdot 10^{-6} d_{тр}^2 l_{тр}^2 Q_{з.п}, \quad (2)$$

где $d_{тр}$ – диаметр трубопровода, м;

$l_{тр}$ – длина трубопровода, м;

$Q_{з.п}$ – расчетный расход воздуха в забое, м³/мин.

Аэродинамическое сопротивление трубопровода диаметром 200 мм в 12 раз больше, чем трубопровода диаметром 400 мм, и в 30 раз больше, чем трубопровода диаметром 600 мм. Поэтому гибкие трубопроводы диаметром 200 и 300 мм имеют огромное аэродинамическое сопротивление и не пригодны для обеспечения проветривания при ведении аварийно-спасательных работ.

ВМП-4 снабжен коробкой с тремя соплами и трехходовым краном, обеспечивающим подачу сжатого воздуха к одному, двум и трем соплам, у него три режима проветривания с переключением на ходу с одной характеристики на другую, что обеспечивает плавный пуск ВМП без разрушения трубопровода.

Наиболее приемлемые источники энергии для ведения аварийно-спасательных работ – дизель-генераторы или компрессоры на автомобильных прицепах или шасси с широким диапазоном параметров, которые обеспечивают автономное энергопитание на малых угледобывающих предприятиях при отключении стационарного питания от центральных сетей в результате аварии. При выборе дизель-генераторов и компрессоров обязательно следует учитывать потребляемую мощность других потребителей энергии.

В аварийных ситуациях и при разгазовании выработок следует использовать нагнетательный способ проветривания как наиболее рациональный, эффективный и безопасный, а также гибкие вентиляционные трубы. Трубы необходимо иметь как можно меньшего диаметра и более легкие, чтобы ускорить их установку при ведении аварийно-спасательных работ.

Аэродинамическое сопротивление гибких труб в значительной степени зависит от материала и диаметра, качества монтажа, натяжения трубопровода, его провисания и других причин. Чем меньше диаметр трубопровода, тем больше его аэродинамическое сопротивление. Для учета степени натяжения гибких труб табличное значение аэродинамического сопротивления умножают на коэффициент натяжения, равный 1,25 для слабо натянутых труб. В связи с относительно малой массой (70 кг) и габаритами для обеспечения мобильности предложено использовать и размещать на автотранспорте ВМП-4 комплект вентиляционных труб, запасные части и приспособления (рис. 2). Основным источником питания для ВМП-4 могут быть автономные винтовые компрессоры ЗИФ-55 [3].

Технические характеристики дизель-генераторов АД-200-Т400 позволяют использовать их как источник питания для электрических вентиляторов ВМ-4 или ВМ-4М при ведении горноспасательных работ.

Для достижения основной цели – обеспечения безопасности ведения аварийно-спасательных работ – можно эффективно использовать ВМП, гибкие

вентиляционные трубопроводы, компрессоры и дизель-генераторы. Мобильны и удобны для обеспечения безопасности ведения горноспасательных работ и проветривания ВМП с пневматическим или электрическим приводом, работающие на нагнетание, с трубами диаметром 400...600 мм. Увеличения давления вентиляторов и длины проветриваемой выработки можно достигнуть за счет соединения двух вентиляторов для последовательной работы на один трубопровод.

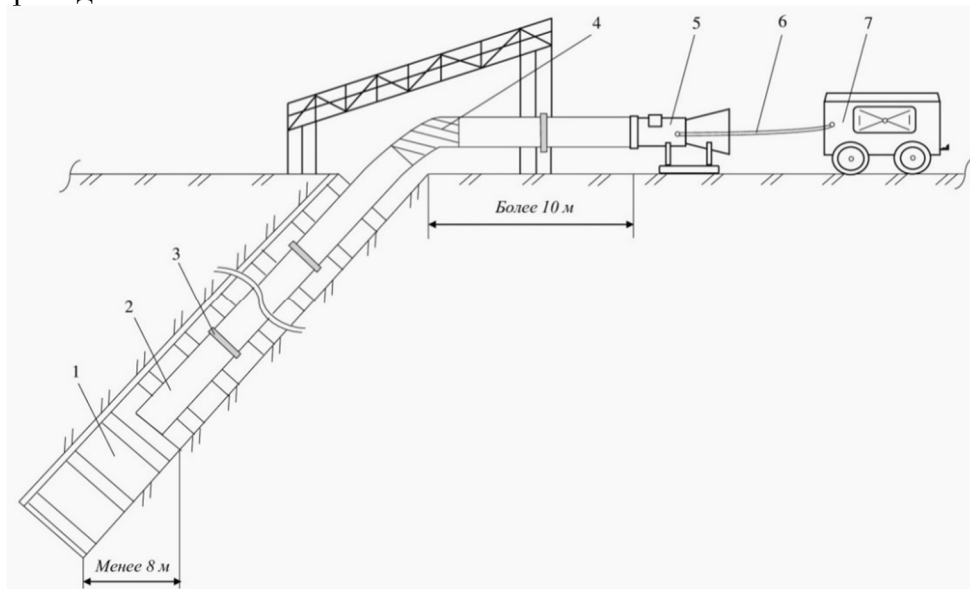


Рис. 2. Схема компоновки технических средств проветривания малых угледобывающих предприятий при ведении горноспасательных работ: 1 – горная выработка; 2 – вентиляционный трубопровод; 3 – соединение отрезков вентиляционного трубопровода; 4 – металлическое соединительное колено; 5 – пневматический или электрический ВМП; 6 – рукав для подачи сжатого воздуха или электрический кабель; 7 – источник пневматической или электрической энергии

Таким образом, даны рекомендации по выбору методов и технических средств проветривания горных выработок малых угледобывающих предприятий (копанок, артелей) Донецкой Народной Республики при ведении горноспасательных работ подразделениями ФГКУ «ВГСЧ ДНР».

Перечень ссылок

1. Агеев, В.Г. Разгазирование тупиковых выработок в аварийных условиях / В.Г. Агеев // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 2008. – № 45. – С. 5-9.

2. Козаков, С.П. Определение механических и аэродинамических параметров шахтных вентиляционных трубопроводов / С.П. Козаков, Б.А. Гриценко, К.Х. Ли // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 11. – С. 52-53.

3. Компрессоры ЗИФ-55. URL: <http://www.alfatechno.ru/?id=67&cat=138> (дата обращения: 01.05.2026).

УДК 622.235

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИНГИБИТОРА РЕАКЦИЙ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ СМЕСЕЙ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ, ВОЗДУХА И УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

С.А. Калякин, К.Н. Лабинский, И.В. Купенко, Н.Д. Барсук

А.Н. Макшеев, С.О. Пирогов

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический
университет»,

г. Донецк, ДНР, Российская Федерация

Аннотация. На основании результатов проведенных исследований авторами выполнено сравнение эффективности ингибирования реакций воспламенения смесей пропана, бутана, воздуха и угольной пыли порошком ИСТО-1, используемого в настоящее время в составе средств пожаротушения, и фосфоритной мукой.

Abstract. Based on the results of the conducted research, the authors compared the effectiveness of inhibiting the ignition reactions of propane, butane, air, and coal dust mixtures using the ISTO-1 powder, which is currently used in fire extinguishing agents, and phosphorite flour.

Ключевые слова: предохранительные ВВ, газозовдушная смесь, пылевоздушная смесь, инфракрасное излучение, ингибитор, пламегаситель, средства взрывозащиты угольных шахт.

Keywords: safety explosives, gas-air mixture, dust-air mixture, infrared radiation, inhibitor, flame retardant, means of explosion protection for coal mines.

Испытания предохранительных ВВ (ПВВ) проводятся во взрывной камере опытного штрека, где создаются наиболее опасные условия взрывания зарядов: в канале стальной мортиры без забойки (имитация торцевого обнажения заряда ВВ); в уголковой мортире с отражательной стенкой (имитация бокового обнажения заряда ВВ). В качестве критериев уровня предохранительных свойств ВВ выступают предельные массы заряда ВВ, которые определяются различным образом в зависимости от класса ВВ и вида испытаний.

Вполне очевидные недостатки указанного метода [1] способствовали поиску новых путей определения уровня предохранительных свойств ПВВ во второй половине прошлого столетия [2–5 и др]. Несколько позднее сотрудниками ФГБОУ ВО ДонНТУ был предложен способ оценки предохранительных свойств ПВВ по энергии инфракрасного излучения возбужденной метано- или

пылевоздушной смеси (МВС или ПВС), а также методика его реализации [6–7]. Данный способ хорошо себя зарекомендовал на практике. Так, проведенные исследования [7] позволили выявить перспективные ингибирующие и флегматизирующие материалы (фосфоритная мука (ГОСТ 5716-74) и др.) для использования в составе средств взрывозащиты горных выработок по энергии инфракрасного излучения при их взаимодействии с раскаленными продуктами взрыва ВВ. В то же время, авторы считают необходимым проведение дальнейших испытаний указанного состава. В частности, следует установить способность данного порошка ингибировать реакции воспламенения смесей горючих газов, воздуха и угольной пыли.

Исследования характера воспламенения смесей воздуха, пропана и бутана, угольной пыли и ингибиторов проводились с использованием разработанной авторами схемы распыления порошкообразных составов в камере сгорания (рис. 1), представляющей собой прозрачную емкость объемом 5 л или 6 л.

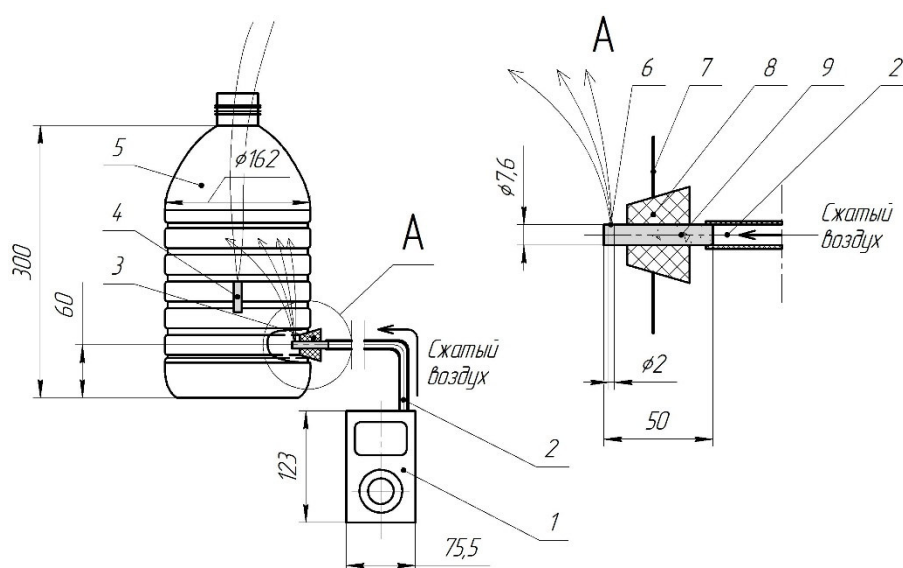


Рис. 1. Схема и оборудование для исследований характера воспламенения смесей пропана, угольной пыли и ингибиторов:

- 1 – портативный компрессор; 2 – магистраль сжатого воздуха; 3 – устройство для распыления порошков; 4 – электровоспламенитель; 5 – камера сгорания испытуемых смесей; 6 – отверстие для распыления порошков; 7 – стенка камеры сгорания; 8 – уплотнитель резиновый; 9 – контейнер с порошкообразными составами

Для распыления испытуемых порошкообразных составов использовался портативный поршневой компрессор 1 (см. рис. 1) с

размерами 123,0x75,5x45,8 мм и массой 0,49 кг. Данный компрессор обеспечивает достаточные для испытаний давление (до 10,3 бар) и производительность (до 18,75 л/мин), имеет цифровой манометр, дисплей, встроенный аккумулятор и разъем питания USB Type C. В его комплект также входит воздушный шланг длиной 0,5 м, который перед проведением испытаний присоединялся к магистрали сжатого воздуха 2, длиной 5 м. Магистраль сжатого воздуха 2 подсоединялась к биметаллическому контейнеру 9, внутри которого размещались подготовленные к распылению сжатым воздухом порошкообразные навески. Контейнер имел внутренний диаметр 7,6 мм, длину 50 мм, а также отверстие (сопло) 6 диаметром 2 мм для распыления порошков. В случае использования порошкообразных навесок большой массы (1...2 г) применялся дополнительный контейнер, который располагался между контейнером 9 и магистралью сжатого воздуха 2.

В стенке камеры сгорания испытуемых смесей 5, в качестве которой использовались прозрачные сосуды емкостью 5 л или 6 л, устраивалось отверстие диаметром 20 мм на расстоянии примерно 60 мм от ее днища. Для крепления контейнера 9 к стенке 7 камеры сгорания 5, а также для предотвращения утечек газа, в отверстие диаметром 20 мм вводился резиновый уплотнитель 8, имеющий форму усеченного конуса. Контейнер 9 при этом размещался во внутреннем канале уплотнителя 8.

Для испытаний использовалась смесь пропана (90% по объему) и бутана (10% по объему). Известно, что нижний и верхний пределы взрывчатости смесей пропана с воздухом и бутана с воздухом при температуре 293 К и давлении 101325 Па довольно схожи и составляют 2,0...9,5% и 1,5...8,5% по объему соответственно. При этом стехиометрическая концентрация горючего для указанной газозоудшной смеси близка к 5%. Следует отметить, что такая смесь тяжелее воздуха, что позволяет существенно упростить работы на этапе подготовки к испытаниям и свести к минимальному уровню утечки газа.

В качестве распыляемых порошкообразных составов использовались ингибиторы ИСТО-1 (ТУ 20.59.52-001-54572789-2021) и фосфоритная мука (ФМ), а также угольная пыль марки А пласта h_{11} . Масса навесок угольной пыли составляла 0,2 и 1,0 г, испытуемых ингибиторов – 0,1 и 0,5 г, а содержание смеси пропана и бутана в воздухе – 5%.

На предварительном этапе была детально изучена работа описанного выше оборудования и динамика распыления навесок

порошков для испытаний. При этом камера сгорания 5 не заполнялась газом и воспламенение не производилось. Процесс распыления навесок массой 0,1...2,0 г различных порошков фиксировался высокоскоростной камерой Evercam F3500-256-С, которая устанавливалась на штативе в непосредственной близости от сосуда 5 и с использованием Ethernet-интерфейса подключалась к мобильному автономному посту управления, обработки и коммутации. Скорость видеозаписи составляла 100 и 500 кадров/с при разрешении 1920x1088 пикселей. Дополнительно велась видеозапись со скоростью 24 кадра/с (разрешение – Full HD). Далее посредством анализа стоп-кадров полученных записей устанавливалось время создания равномерной концентрации распыляемого порошка в сосуде. Следует отметить, что во всех случаях время создания равномерной концентрации порошка в сосуде не превышало 750 мс и практически не зависело от массы распыляемой навески ингибитора.

В ходе исследований использовались три датчика электромагнитного излучения, устанавливаемые на расстоянии 100, 150 и 200 мм от сосуда 5; высокоскоростная камеры Evercam F3500-256-С (скорость видеозаписей составляла 1000 кадров/с) располагалась в непосредственной близости от смотрового окна взрывной камеры.

На заключительном этапе подготовки в камеру сгорания 5 вводился электровоспламенитель 4, а концы его проводников присоединялись к электровзрывной цепи.

Для примера на рис. 2 показаны стоп-кадры видеозаписи воспламенения смеси пропана, бутана (250 мл), воздуха (5 л) и 1 г угольной пыли марки А пласта h_{11} . Характеристика интенсивности (потока) электромагнитного излучения, B на рис. 3 обозначена через U , а время, c – через t .

На рис. 2, а показан момент инициирования электровоспламенителя внутри камеры сгорания, который был выбран в качестве начального (0 мс). Уже через 20 мс от начального момента (рис. 2, б) пламя от горящей смеси пропана, бутана, воздуха и угольной пыли заняло более половины объема камеры сгорания. Максимальная яркость и размеры пламени (рис. 2, в) наблюдаются примерно через 50 мс от момента инициирования электровоспламенителя. Кроме того, на данном рисунке отчетливо виден сравнительно длинный и узкий столб пламени, выбивающийся из горловины камеры сгорания. Анализ записи сигналов с датчиков электромагнитного излучения Д1...Д3 показал (рис. 3), что максимальное значение интенсивности (потока) излучения отмечалось через 49,1; 49,7 и 50,2 мс. Таким образом, полученные результаты отлично согласуются с данными видеозаписей.

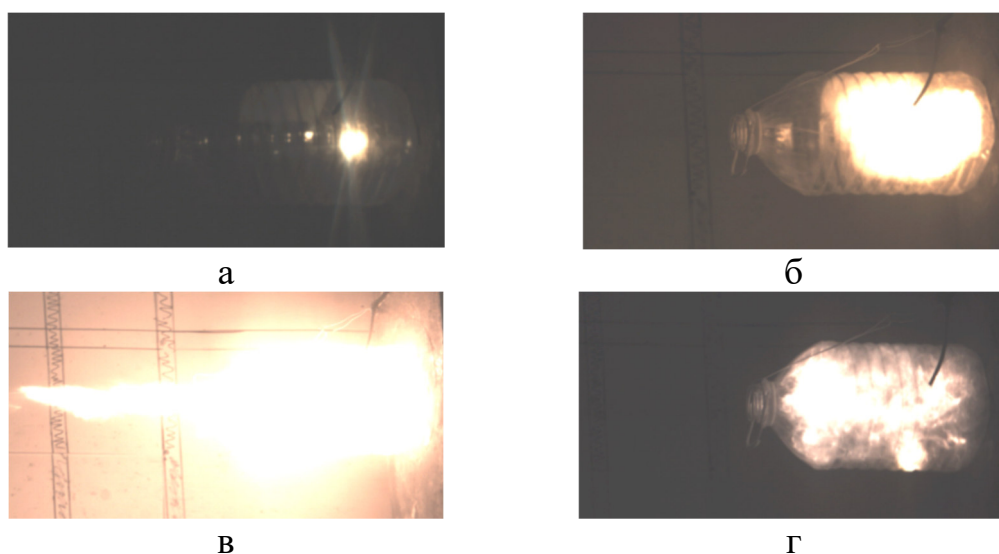


Рис. 2. Фрагменты видеозаписи процесса воспламенения смеси угольной пыли марки А пласта h_{11} , пропана, бутана и воздуха в камере сгорания объемом 5 л:

а – 0 мс; б – 20 мс; в – 50 мс; г – 130 мс

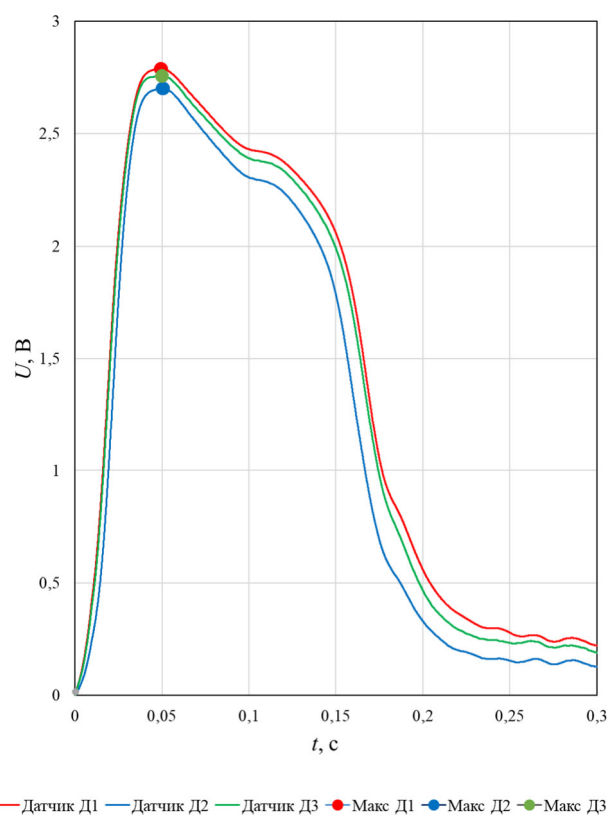


Рис. 3. Результаты записи (пример) сигнала с датчиков электромагнитного излучения Д1...Д3 при испытаниях смеси

угольной пыли марки А пласта h_{11} , пропана, бутана и воздуха в камере сгорания объемом 5 л

Наконец, уменьшение яркости и размеров пламени наблюдается после момента завершения химической реакции ($> 50,2$ мс). При этом также имеет место резкое снижение интенсивности (потока) электромагнитного излучения, на что указывают ниспадающие ветви графиков на рис. 3. Стоп-кадр, приведенный на рис. 2, г, сделан через 130 мс от момента инициирования электровоспламенителя.

По итогам исследований определялись параметры EMI (энергия электромагнитного излучения) и t_{max} . Отметим, что в данной серии экспериментов в начальный момент времени ($t_{min} = 0$) начинался рост интенсивности (потока) электромагнитного излучения, которая достигала своего максимума в момент t_{max} . Величина энергии электромагнитного излучения определялась как площадь под полученными кривыми $U-t$:

$$EMI = \int_{t_{min}}^{t_{max}} U(t) dt.$$

Анализ полученных результатов (рис. 4) показал, что величина EMI достигает максимума при сгорании смесей воздуха, газа (5% по объему) и угольной пыли марки А.

При сгорании смесей воздуха и газа (5% по объему) средняя величина EMI уменьшается примерно на треть и составляет 0,67. Наличие ингибиторов ФМ и ИСТО-1 в количестве 0,1 г (20 г/м³) в составе смесей воздуха и газа (5% по объему) практически не оказывает влияния на величину EMI (0,63 в случае ФМ и 0,67 в случае ИСТО-1), а уже при увеличении массы навески ИСТО-1 до 0,5 г (100 г/м³), EMI уменьшается довольно существенно и составляет 0,48.

По данным рис. 5, время, соответствующее максимуму интенсивности (потока) электромагнитного излучения (время химической реакции) минимально при сгорании смесей воздуха, газа (5% по объему) и угольной пыли марки А. В случае массы распыляемой навески угля равной 0,2 г $t_{max} = 0,55$, а при массе навески 1 г – $t_{max} = 0,65$.

При сгорании смесей воздуха и газа (5% по объему) средняя величина t_{max} несколько увеличивается и составляет 0,75.

Наличие ингибиторов ФМ и ИСТО-1 в количестве 0,1 г (20 г/м³) в составе смесей воздуха и газа (5% по объему) оказывает довольно незначительное влияние на продолжительность реакции (0,78 в случае ФМ и 0,65 в случае ИСТО-1), а уже при увеличении массы навески ИСТО-1 до 0,5 г (100 г/м³), t_{max} возрастает до единицы, т.е. данный ингибитор существенно снижает скорость реакции воспламенения газозооушной смеси при указанной его концентрации.

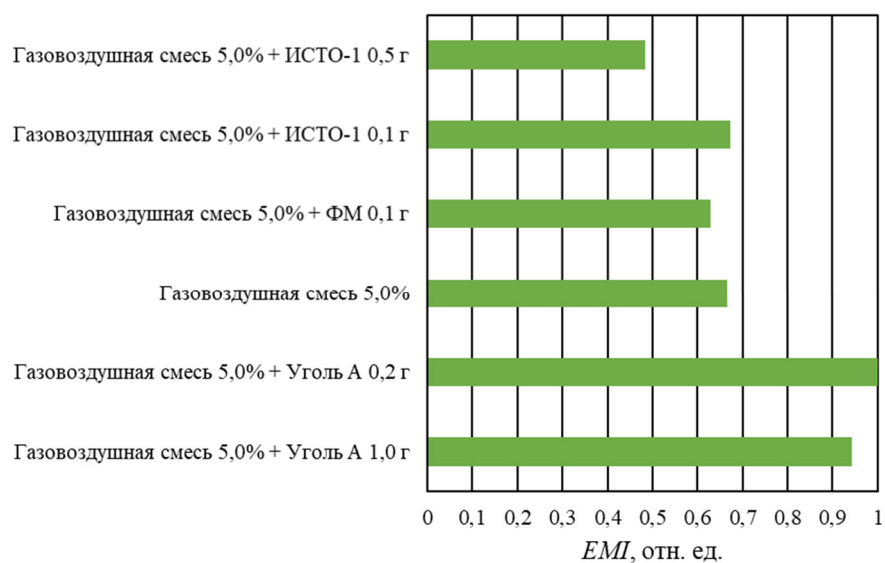


Рис. 4. Величины EMI в зависимости от состава испытываемых смесей

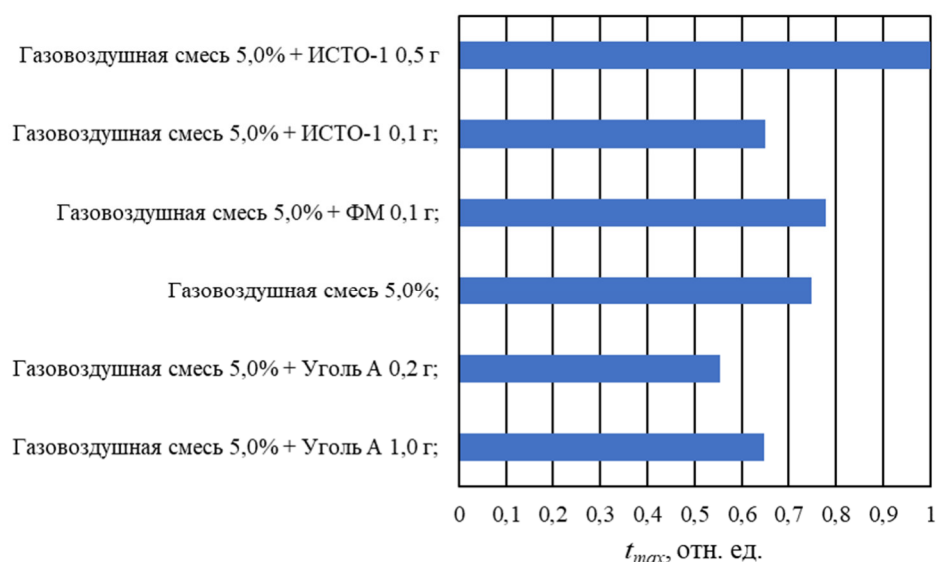


Рис. 5. Величины t_{max} в зависимости от состава испытываемых смесей

Выводы. Результаты первого этапа исследований показали, что наличие ингибиторов ФМ и ИСТО-1 в количестве 0,1 г (20 г/м^3) в составе смесей воздуха, пропана и бутана (5% по объему) практически не оказывает влияния на величину энергии электромагнитного излучения EMI и на продолжительность реакции, а при увеличении массы навески ИСТО-1 до 0,5 г (100 г/м^3), EMI и скорость химической реакции уменьшаются весьма существенно, т.е. проявляется ингибирующая способность указанного порошка.

Перечень ссылок

1. Исследование электромагнитного излучения радикалов в зоне воспламенения

гибридных смесей воздуха, метана и угольной пыли / С.А. Калякин [и др.] // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXXVII, № 10 (272). – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2023. – С. 109-111.

2. Сахненко З.Н., Песоцкий Н.К. Разработка и опытная проверка более совершенных методов оценки предохранительных свойств ВВ. Техотчет МакНИИ. Архив МакНИИ, 1962.

3. Галаджий О.М., Сахненко З.Н., Кичигин Н.И. Совершенствование методов испытания предохранительных ВВ. Часть II и III. Техотчет МакНИИ. Архив МакНИИ, 1965.

4. Галаджий О.М., Вайнштейн Б.И., Бондаренко В.Н. Исследование возможности использования физических признаков взрыва ВВ для оценки их воспламеняющей способности. Техотчет МакНИИ, Макеевка-Донбасс, 1968.

5. Расторгуев В.М. Исследование и разработка способа сравнительной оценки предохранительных свойств взрывчатых веществ : Дис... канд. техн. наук: 05.15.02. / АН СССР. Ин-т горного дела им. А. А. Скочинского. – Москва, 1974. – 186 с.

6. Лабинский К.Н. Исследование влияния состава ВВ на параметры детонации и электромагнитное излучение продуктов взрыва / [К.Н. Лабинский и др.] // Машиностроение и техносфера XXI века : сб. трудов XXXI междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополь 16–22 сент. 2024 г. – Донецк : ДонНТУ, 2024. – С. 179–182.

7. Исследования эффективности перспективных ингибирующих и флегматизирующих материалов для использования в составе средств взрывозащиты горных выработок / С. А. Калякин, К. Н. Лабинский, И. В. Купенко [и др.] // Машиностроение и техносфера XXI века : Сборник трудов XXXII Международной научно-технической конференции, Севастополь, 15–21 сентября 2025 года. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2025. – С. 163-169. – EDN REJNKC.

УДК 622.235:004.94

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВ ВВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ANSYS EXPLICIT DYNAMICS

Д. Л. Касьяненко, И. И. Клочко, Ю.А. Петренко
Донецкий национальный технический университет
г. Донецк

Аннотация. В статье представлено исследование влияния различных конструкций заряда простейших ВВ на их эффективность разрушающего действия с использованием ANSYS Explicit Dynamics. Установлено, что конструкция заряда с детонирующим шнуром в виде навитой спирали наиболее эффективна.

Annotation. The article presents a study of the effect of various charge designs of the simplest explosives on their destructive effectiveness using ANSYS Explicit Dynamics. It was found that the design of the charge with a detonating cord in the form of a coiled spiral is the most effective.

Ключевые слова: взрывчатые вещества, средства инициирования, детонирующий шнур, моделирование, зона разрушенных пород, ANSYS Explicit Dynamics.

Keywords: explosives, means of initiation, detonating cord, simulation, zone of destroyed rocks, ANSYS Explicit Dynamics.

Задача повышения энергоемкости процесса разрушения горных пород занимает ведущее положение при взрывных работах. Известно, что на эффективность отбойки горных пород оказывает влияние значительное количество факторов [1]. Одним из таких факторов является управление процессом детонации заряда взрывчатого вещества (ВВ) за счет изменения условий его инициирования.

В настоящее время наибольшее распространение получили скважинные заряды со сплошной колонкой ВВ одного типа. Основываясь на известных решениях [2], можно сказать, что создание сходящихся в заряде детонационных волн (ДВ) позволяет получить направленное истечение продуктов взрыва (ПВ). Основное направление истечения ПВ происходит в плоскости, перпендикулярной плоскости схождения ДВ. В цилиндрических зарядах создание сходящихся ДВ достигается применением системы линейных инициаторов, размещенных с диаметрально противоположных сторон. Направленное истечение ПВ в таких зарядах позволяет повысить их скорость в 2,5-3,0 раза, а давление в 1,8 раза по сравнению со случаем равномерного разлета.

Проверка работоспособности зарядов, инициируемых с диаметрально противоположных сторон, выполненная в шпурах, показала, что воронка выброса в грунтах увеличивается в 1,5 раза, а в скальных породах типа гранитов в 1,35 раза.

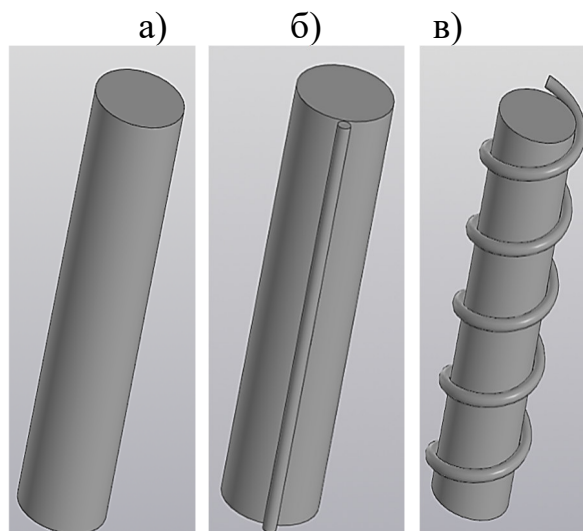
Вышеприведенные данные свидетельствуют о значительных возможностях улучшения качества взрывоподготовки за счет перераспределения энергии взрыва, достигаемого применением соответствующих схем инициирования.

В ранее проведенных исследованиях [3] было установлено, что использование спирального размещения детонирующего шнура (ДШ) при инициировании цилиндрических зарядов ВВ приводит к росту дробления воронки (до 30%) по сравнению с классическими методами. Такое размещение ДШ по внешней поверхности заряда ВВ позволит создать множество детонационных волн, распространяющихся в заряде навстречу друг к другу, что приведет к образованию в объеме заряда зон повышенного давления.

С целью сравнения эффективности параметров конструкции предлагаемого заряда было принято решение произвести исследования с использованием расчетного комплекса ANSYS Explicit Dynamics [4]. На рисунке 1 показаны исследуемые три 3D модели конструкций зарядов ВВ в виде цилиндра – длиной 160 мм и диаметром 32 мм, со следующими отличиями: в модели №1 – основное ВВ, модели №2 и №3 – с ДШ диаметром 5 мм расположенный на внешней поверхности ВВ, со следующими конструктивными особенностями: в модели №2 – ДШ выполнен по прямой, в модели №3 – ДШ расположенный в виде навитой спирали согласно предложенной конструкции [5].

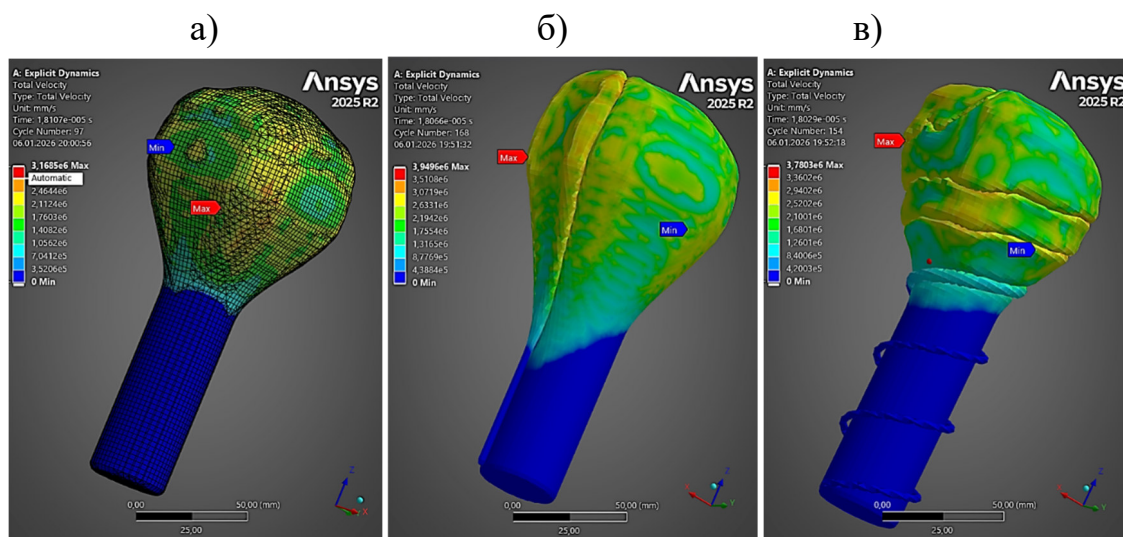
Для моделирования детонационных волн рассматриваемых конструкций зарядов ВВ в среде ANSYS Explicit Dynamics были заданы следующие параметры: размер моделируемого пространства по осям составлял: $X - 3a$, $Y - 3a$, $Z - 1,5a$, (где a – диаметр моделируемого ВВ, мм), расчетная сетка конечных элементов равна 2 мм. Из базового набора были выбраны следующие ВВ: для ДШ – PETN 1,26 (аналог ТЭН), для основного заряда – ANFO (аналог аммонит №6ЖВ). Начало инициирования модели №1 задавалось с центра оси начала заряда, а для модели №2 и №3 – с начала ДШ.

Моделирования детонационных волн в среде ANSYS Explicit Dynamics, показаны на рисунке 2.



а) модель №1; б) модель №2; в) модель №3

Рисунок 1 – Внешний вид исследуемых 3D моделей в ANSYS



а) модель №1; б) модель №2; в) модель №3

Рисунок 2 – Моделирование детонационных волн в программном комплексе ANSYS Explicit Dynamics на 7 итерации (18 мкс)

Анализ результатов моделирования показал [6], что независимо от вида конструкции заряда на первых микросекундах происходит резкое увеличение давления. Для модели №1 этап стабилизации длится до 30 мкс, затем происходит резкое снижения давления. В моделях №2 и №3 – до 40 мкс, затем происходит скачок давления. В модели №3 скачок давления достигает самого высокого значения равного 4700 МПа, по сравнению с другими (модель №1 – 3400 МПа, и модель №2 – 3700

МПа), что объясняется длительным воздействием инициирования ДШ навитой спирали. Это создает более сложную волновую картину, где волны от разных участков спирали могут взаимодействовать между собой, усиливая общее давление в определенных точках.

Таким образом, численное моделирование в среде ANSYS Explicit Dynamics позволило установить, что спиральное расположение ДШ на боковой поверхности основного ВВ является наиболее эффективной. Преимущество данного способа заключается в большей мощности и надежности начального детонационного импульса ВВ скважинного заряда по сравнению с остальными способами инициирования, за счет наложения волн напряжений с мощной разрушительной амплитудой в массиве горных пород от действия промежуточных детонаторов-спиралей. Дальнейшие исследования будут направлены на обоснование рациональных параметров конструкции зарядов ВВ за счет изменения условий инициирования скважинных зарядов взрывчатых веществ спиральными инициаторами, что обеспечит минимальный расход материалов на отбойку и позволит рационально использовать природные ресурсы.

Перечень ссылок

1. Ключко, И.И. Совершенствование способов управления взрывной отбойкой скальных пород за счет изменения условий инициирования скважинных зарядов ВВ / И.И. Ключко, Д. Л. Касьяненко / Альтернативная энергетика. Научно - технический журнал. – №02 (17), 2025. – С. 155-161.
2. Станюкович К.П. Неустановившиеся движения сплошной среды. Монография. Москва: Наука, 1971. – 856 с.
3. Касьяненко, Д.Л. Влияние условий инициирования зарядов вв на эффективность дробления горных пород / И. И. Ключко, Ю. В. Манжос, Д. Л. Касьяненко // Труды РАНМИ. – 2025. – № 6(44). – С. 41-50. – DOI 10.24412/2519-2418-2025-644-41-50
4. Ansys Explicit Dynamics : documentation. – Canonsburg : ANSYS Inc., 2024. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.ansys.com> (дата обращения: 30.04.2026).
5. Заявка на патент №2025132337 RU. Способ инициирования скважинных зарядов взрывчатых веществ: заявл. 19.11.2025 / И.И. Ключко, Д.Л. Касьяненко; заявитель ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет». – 8 с.
6. Касьяненко, Д. Л. Исследование влияния условий инициирования зарядов ВВ на параметры продуктов детонации на моделях / Д. Л. Касьяненко // Труды РАНМИ. – 2026. – № 9(47). – С. 124-132. – DOI 10.24412/2519-2418-2026-947

УДК 622.23.05

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ КАРЬЕРНОГО ВОДООТЛИВА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Е.Р. Каткова, В.С. Балашов

ФГБОУ ВО «ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»,

кафедра «Технологическое развитие нефтегазового комплекса», г.
Тюмень, Российская Федерация

***Аннотация.** В работе рассмотрена проблема бесперебойной работы карьерного водоотлива в условиях Крайнего Севера при аварийном отключении электроснабжения. Предложена комплексная система, объединяющая антиобледенение трубопровода, резервирование насосов, гибридное питание и цифровой контур управления. Такой подход снижает риски аварий и остановки трубопровода.*

***Annotation.** The paper considers the problem of uninterrupted operation of quarry drainage in the Far North during an emergency power outage. A comprehensive system is proposed that combines pipeline de-icing, pump redundancy, hybrid power supply and a digital control circuit. This approach reduces the risks of accidents and pipeline shutdowns.*

***Ключевые слова:** карьерный водоотлив, замерзание трубопровода, резервирование, цифровой мониторинг.*

***Keywords:** open-pit drainage, pipeline freezing, redundancy, digital monitoring.*

Введение

Система карьерного водоотлива является одним из базовых элементов безопасной эксплуатации открытых горных работ. Она обеспечивает сбор, перекачку и отвод подземных и поверхностных вод, предотвращает подтопление рабочих горизонтов, снижает влажность пород и поддерживает устойчивость откосов. При открытом водоотливе насосные станции и водосборники размещаются в нижних отметках карьера, а производительность насосов должна обеспечивать откачку поступающей воды с необходимым резервом [1]. В условиях Крайнего Севера надежность такой системы приобретает особое значение, поскольку отказ водоотлива быстро превращается не только в техническую, но и в производственно-экологическую проблему.

Северная эксплуатация осложняется экстремально низкими температурами, ветром, обледенением, многолетнемерзлыми грунтами и сложной логистикой. Наиболее опасным является сценарий

аварийного отключения электроснабжения: при обрыве линий электропередач (ЛЭП) одновременно прекращается работа насосов, кабельного обогрева и циркуляции воды. При отрицательной температуре и застое вода в трубопроводе начинает кристаллизоваться, образуются ледяные пробки, возрастает риск разрыва труб, повреждения арматуры и выхода из строя насосного оборудования. Цель работы – предложить комплекс технических и организационных решений, обеспечивающих сохранение работоспособности карьерного водоотлива при таком аварийном сценарии.

Анализ риска замерзания трубопровода

Риск смерзания трубопровода формируется под действием четырех групп факторов. Климатические факторы включают мороз, ветер, метели и обледенение конструкций. Энергетические факторы связаны с зависимостью насосов и обогрева от внешней линии электропередачи. Технические факторы определяются протяженностью трубопроводов, изменением схемы водоотведения по мере углубления карьера, ростом напоров и нагрузкой на насосные агрегаты. Геокриологические факторы включают сезонное протаивание оснований, деформации площадок и необходимость термостабилизации сооружений.

Даже при наличии теплоизоляции и штатного кабельного обогрева полная потеря питания остается критическим событием. Теплоизоляция лишь замедляет охлаждение, но не устраняет его, а остановка потока создает условия для локального образования льда на поворотах, фланцах, задвижках и пониженных участках трассы. При замерзании вода увеличивает объем, что вызывает внутренние напряжения, деформацию труб и раскрытие сварных соединений. Поэтому защита трубопровода должна рассматриваться не как отдельный элемент, а как часть единой отказоустойчивой архитектуры.

Нормативные и учебные источники по водоотливу указывают на необходимость резервирования насосных установок, контроля уровня воды, дистанционного управления и защиты трубопроводов от промерзания в зимний период [2]. Однако для северного карьера ключевым становится не только наличие резерва, но и способность системы автоматически сохранить минимально необходимый контур работы при аварии. Таким контуром являются связь и автоматика, контроль температуры, обогрев наиболее опасных участков и работа дежурного насоса.

Комплекс технических решений

Предлагаемая система включает четыре взаимосвязанных блока. Первый блок – трехуровневая защита трубопровода от промерзания. На

первом уровне применяется теплоизоляция, снижающая теплопотери по длине трассы. На втором уровне используется секционный кабельный электрообогрев, который включается по датчикам температуры только на участках повышенного риска. На третьем уровне предусматривается циркуляция или импульсная подкачка при малом расходе и длительной остановке, поскольку движение воды существенно снижает вероятность локального промерзания.

Второй блок – повышение надежности насосного оборудования. Для карьерного водоотлива северного исполнения целесообразно применять резервирование по схеме «два плюс один», частотное регулирование и автоматический ввод резервного агрегата. Насосы должны оснащаться датчиками вибрации, температуры подшипников, давления, расхода и тока электродвигателя. Контроль этих параметров позволяет перейти от обслуживания по календарю к обслуживанию по фактическому состоянию и заранее выявлять рост риска отказа [3].

Третий блок – аварийное электроснабжение критических потребителей. Полное питание всего карьера от автономных источников экономически нецелесообразно, поэтому при обрыве ЛЭП приоритет должен отдаваться только жизненно важным функциям: автоматике и связи, обогреву трубопровода, системе мониторинга и одному дежурному насосу. Для этого предлагается гибридная схема «ЛЭП – аккумуляторный накопитель – ветроэнергетическая установка». Ветрогенератор в данном случае не заменяет сеть, а снижает нагрузку в штатном режиме, заряжает накопитель и продлевает безопасную автономию при аварии.

Четвертый блок – цифровой контур управления. Он объединяет датчики, локальные контроллеры, SCADA-диспетчеризацию и аналитический модуль [4]. Система контролирует уровень воды, давление, расход, температуру трубопровода и воздуха, состояние обогрева, вибрацию насосов, токи двигателей, заряд накопителя и параметры ветра. На основе этих данных формируются штатный, предаварийный и аварийный режимы. В предаварийном режиме усиливается обогрев, готовится резервный насос и перераспределяется нагрузка; в аварийном режиме отключаются второстепенные потребители и сохраняются критические функции [5].

Оценка эффективности и внедрение

Эффективность предлагаемого решения определяется не только снижением энергопотребления, но прежде всего предотвращением тяжелого аварийного сценария. Модельная инвестиционная оценка показала следующие показатели: CAPEX – 335,0 млн руб., OPEX первого года – 44,0 млн руб., эффект первого года – 140,0 млн руб., NPV

– 167,0 млн руб., IRR – 30,0 %, индекс прибыльности – 1,50. Простой срок окупаемости составляет 3,31 года, дисконтированный срок окупаемости – 5,26 года. Основной источник эффекта – предотвращенный простой, на который приходится около 55 % результата первого года.

Внедрение целесообразно выполнять поэтапно. На первом этапе проводится обследование трассы трубопровода и паспортизация критических участков. На втором этапе выполняются инженерные расчеты теплоизоляции, обогрева, насосного резерва и емкости накопителя. На третьем этапе монтируются датчики, контроллеры, секции обогрева и аварийный контур питания. Далее проводится пусконаладка, пилотная эксплуатация на наиболее опасном участке и масштабирование решения на всю систему водоотлива. Такой порядок снижает организационные риски и позволяет корректировать параметры по фактическим данным эксплуатации.

Выводы

1. Наиболее опасный сценарий для карьерного водоотлива в условиях Крайнего Севера связан с обрывом ЛЭП, остановкой насосов и обогрева, застоем воды и последующим образованием ледяных пробок.

2. Устойчивость системы должна обеспечиваться комплексно: теплоизоляцией, секционным кабельным обогревом, циркуляцией или импульсной подкачкой, резервированием насосов, аварийным питанием и цифровым мониторингом.

3. Гибридная схема электроснабжения должна поддерживать критический контур, а не заменять полностью внешнюю сеть.

4. Цифровой контур позволяет заранее выявлять опасное охлаждение трубопровода, отклонения в работе насосов и дефицит аварийной энергии.

5. Модельная экономическая оценка подтверждает целесообразность внедрения: при CAPEX 335,0 млн руб. проект формирует NPV 167,0 млн руб. и IRR 30,0 %.

Перечень ссылок

1. СП 103.13330.2012. Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод. – Москва : Минрегион России, 2012. – 65 с.
2. Патент на полезную модель № 88691 U1 Российская Федерация, МПК E02D 19/00. Дренажный комплекс для защиты глубоких карьеров от притоков подземных вод : № 2008148278/22 : заявл. 08.12.2008 : опубл. 20.11.2009 / Ю. И. Волков, Н. И. Забусов, А. А. Изотов, Ю. В. Пономаренко ; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханики, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу».
3. Гришко А. П., Шелоганов В. И. Стационарные машины и установки : учебное пособие. – 2-е изд., стер. – Москва : Горная книга, 2007. – 325 с.

4. Цифровые технологии в управлении технологическими объектами переработки нефти и газа / Е. О. Землянский, М. Ф. Жданович, А. М. Глазунов, О. О. Майорова. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2024. – 82 с. – ISBN 978-5-9961-3357-4.

5. Шмидт А. А. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых в Арктической зоне. – Москва : Издательство МГУ, 2020. – 200 с.

Научный руководитель: Жданович М.Ф., канд. техн. наук, доцент кафедры «Переработка нефти и газа».

УДК 622.867.322

**О РАЗРАБОТКЕ ИЗОЛИРУЮЩЕГО ДЫХАТЕЛЬНОГО
АППАРАТА – РЕСПИРАТОРА С ОПТИМАЛЬНЫМ
КОЛИЧЕСТВОМ КИСЛОРОДА ВО ВДЫХАЕМОЙ
ГАЗОВОЙ СМЕСИ**

А.П. Кирьян^{1,2,3}, А.В. Агарков^{1,4}, Р.С. Плетенецкий¹, А.С. Иваненко²,
А.Ю. Подзывалов⁴

¹ ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,
г. Донецк, ДНР

² ФГКОУ ВО «Донецкий институт ГПС МЧС России»,
г. Донецк, ДНР

³ ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России»,
г. Москва, Московская область

⁴ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

***Аннотация.** Выполнены исследования процессов регенерации дыхательной газовой смеси при переключении газозоудных потоков в респираторе с учетом концентраций содержащихся газов, что позволило определить достоверность работы функциональных схем дыхательного аппарата с оптимальным количеством кислорода.*

***Annotation (Abstract).** Research was conducted into the processes of regeneration of the respiratory gas mixture when switching gas-air flows in the respirator, taking into account the concentrations of the contained gases, which made it possible to determine the reliability of the functional circuits of the breathing apparatus with the optimal amount of oxygen.*

***Ключевые слова:** изолирующий дыхательный аппарат; респиратор; функциональная схема; химически связанный кислород; надпероксид калия; химический поглотитель известковый; макет.*

***Keywords:** self-contained breathing apparatus; respirator; functional diagram; chemically bound oxygen; potassium peroxide; chemical lime absorbent; model.*

В настоящее время горноспасатели при ведении аварийно-спасательных работ используют изолирующие дыхательные аппараты (респираторы) со сжатым кислородом, предназначенные для защиты органов дыхания в непригодной для дыхания среде.

Регенерация дыхательной смеси происходит следующим образом: химический поглотитель известковый (далее – ХП-И)

поглощает диоксид углерода, содержащийся в выдыхаемой пользователем смеси газов. В дыхательном мешке газовая смесь обогащается кислородом из кислородного баллона. Пример – респиратор Р-30 с замкнутым контуром дыхания и временем защитного действия – 4 ч. Был разработан около 35 лет назад и в настоящее время не соответствует современным условиям ведения горноспасательных работ (протяженные маршруты, высокая температура) и нормативной базе. Поэтому требуется разработка новых моделей респираторов, соответствующих новым требованиям.

Респираторы Р-30 также имеют другие существенные недостатки: необходимость наличия баллоно-компрессорного хозяйства и постоянного технического обслуживания, включающего тарировку баллонов и проверку работоспособности кислородоподающей системы. Еще один недостаток заключается в том, что при работе в Р-30 содержание кислорода во вдыхаемой (дыхательной) газовой смеси изменяется в широких пределах (до 95 %).

В настоящее время основной нормативный документ, определяющий общие технические требования к респираторам, – стандарт [1], согласно которому объемная доля кислорода во вдыхаемой газовой дыхательной смеси (далее – ГДС) должна быть не менее 20 %, а в аппаратах с временем защитного действия более 4 ч объемная доля кислорода не должна превышать 60 %. В начальный период и в конце испытаний допускается понижение объемной доли кислорода до 17 % на время не более чем 3 мин [2].

Физиологические исследования и медицинская практика позволили установить, что свободное дыхание газовой смесью с концентрацией кислорода до 95 % в течение 4 ч безвредно и серьезных изменений в функциональных системах организма не вызывает, однако систематическое вдыхание газовой смеси при высоком парциальном давлении кислорода приводит к интоксикации.

Известно, что при дыхании газовой смесью с концентрацией кислорода более 20 % в респираторе на организм человека негативно влияет не только повышенная концентрация кислорода, но и масса аппарата, создаваемое им дополнительное сопротивление дыханию, примеси небольших концентраций диоксида углерода во вдыхаемой ГДС, ее повышенная температура и влажность [1, 2].

Поэтому актуальным направлением является разработка респиратора с оптимальным количеством кислорода, что позволит уменьшить физиологическую нагрузку на организм спасателя, а также повысить комфортность работы (эргономические показатели). Выполнение данной задачи позволит получить социальный эффект, так

как в отличие от существующих аналогов, предлагаемый респиратор позволит обеспечить спасателей газовой смесью с концентрацией кислорода от 20 до 40 % за счет применения регулирующих электронных систем.

Целью настоящего исследования является определение возможности снижения содержания кислорода во вдыхаемой газовой смеси до оптимального уровня в регенеративных респираторах.

На основании проведенных исследований предлагается вариант конструкции респиратора, представленный на рис. 1 в виде макетного образца, который представляет собой дыхательный аппарат замкнутого цикла с круговой системой движения ГДС, обеспечиваемой обратными дыхательными клапанами, с регенеративным и поглотительным патронами, снаряженными кислородсодержащим продуктом-веществом (далее – ОКЧ) и поглотителем известковым ХП-И, соединенных параллельно с автоматическим переключателем между патронами. Макетный образец имеет линии вдоха и выдоха, сходящиеся в лицевой части.

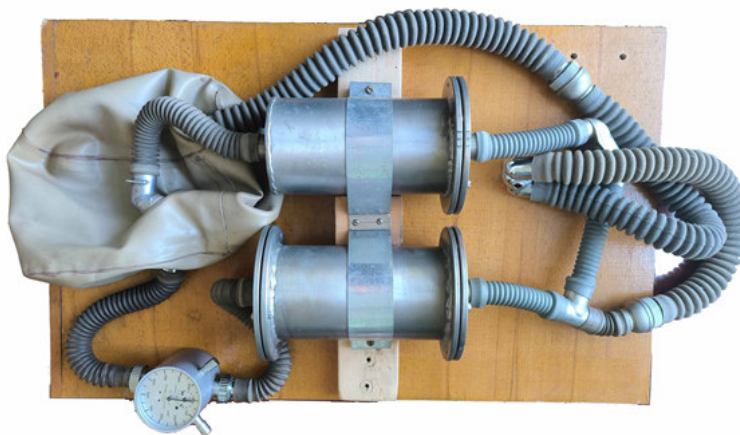


Рис. 1. Макетный образец респиратора с параллельным соединением патронов и переключением в ручном режиме между ними

При разработке схемного решения изолирующего дыхательного аппарата была принята конструкция, содержащая регенеративный патрон с кислородсодержащим продуктом и поглотительный патрон с сорбентом диоксида углерода. Исходя из допущения про одинаковую скорость сорбции каждым из сорбентов, для обеспечения равного использования сорбентов в макетном образце респиратора было принято соотношение масс ХП-И и ОКЧ как 2:1.

Для автоматического регулирования объема газовой смеси, проходящей через каждый из патронов, был разработан и применен клапан переключающий, который должен был обеспечить перекрытие воздухопроводной линии с патроном регенеративным

в случае наполнения мешка дыхательного до максимального объема, что свидетельствовало бы о достаточной концентрации кислорода [3].

Макетный образец (рис. 1) испытывали на динамической установке с «Искусственными легкими» согласно стандарту [1].

Для оценки возможности применения схемы с двумя патронами (один из которых снаряжен ХП-И, второй – ОКЧ) разработана и проверена функциональная схема с параллельным соединением патронов и переключением в ручном режиме между ними (рис. 2).

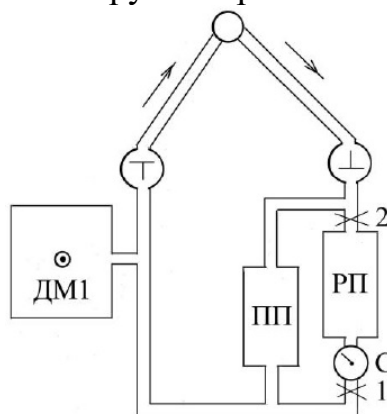


Рис. 2. Функциональная схема респиратора с параллельным соединением патронов и переключением в ручном режиме между ними: ДМ1 – дыхательный мешок вдоха, ПП – патрон поглотительный (с ХП-И), РП – патрон регенеративный (с ОКЧ), С – спирометр, Х – место перекрытия воздуховодных линий

При этом удалось снизить содержание кислорода до оптимальных концентраций. Результаты исследований представлены на рис. 3. В случае отключения регенеративного патрона при концентрации кислорода 25 %, его содержание с учетом колебаний (из-за инерционности химических процессов) не превышало 30 %.

Учитывая экзотермический характер реакций регенерации ГДС, важным параметром также является температура вдыхаемой ГДС. Несмотря на отсутствие теплообменника (холодильника) в макетном образце респиратора, температура вдыхаемой ГДС в течение всей продолжительности экспериментов находилась в пределах, регламентированных стандартом [1]. Согласно требованиям 5.1.1.7 [1] температура вдыхаемой ГДС, независимо от влажности, в течение номинального времени защитного действия должна быть не более 42 °С. В процессе испытаний макетного образца респиратора, в конце одного из самых длительных экспериментов (260 мин), температура была равна 34 °С. Относительно низкая температура вдыхаемой ГДС в экспериментальных исследованиях обусловлена, по-видимому, применением двух патронов с разными сорбентами,

так как тепловыделение при поглощении CO_2 сорбентом ХП-И значительно ниже, чем при регенерации ГДС продуктом ОКЧ.

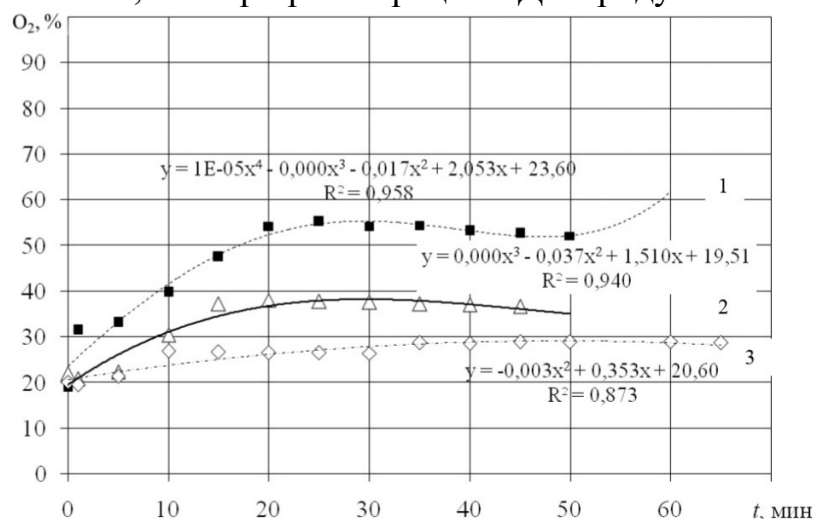


Рис. 3. Изменение содержания кислорода при отключении регенеративного патрона в ручном режиме при разных концентрациях кислорода: 1 – отключение при достижении 55 %, 2 – отключение при достижении 30 %, 3 – отключение при достижении 25 %

Таким образом, результаты экспериментальных исследований макетного образца изолирующего дыхательного аппарата (респиратора) с ручным переключением потоков ГДС между регенеративным и поглотительным патронами позволили установить и подтвердить практическую возможность осуществления снижения содержания кислорода от 20 % до 40...60 %. Применение компактного газоанализатора, управляющего клапанами для переключения потоков ГДС между патронами, позволит создать регенеративный респиратор с оптимальной концентрацией кислорода.

Перечень ссылок

1. ГОСТ 12.4.253-2011. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Автономные изолирующие дыхательные аппараты со сжатым и с химически связанным кислородом для горноспасателей. Общие технические условия : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10.02.2011 № 8-ст.: дата введения 2012-01-01.
2. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования / С. В. Гудков, С. И. Дворецкий, С. Б. Путин [и др.]. – Москва: Машиностроение, 2008. – 188 с.
3. Система кислородопитания изолирующего регенеративного респиратора с оптимальным содержанием кислорода / В. В. Мамаев, Л. А. Зборщик, Р. С. Плетенецкий [и др.] // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2022. – № 4(59). – С. 82–93.

УДК 622:822

О МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭКЗОГЕННОМ ПОЖАРЕ В ТУПИКОВОЙ ВЫРАБОТКЕ ШАХТЫ

О.И. Коврижкин¹, А.В. Агарков^{2,3}

¹ ОВГСО г. Донецк – филиал ФГКУ «ВГСЧ ДНР»,
г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,
г. Донецк, ДНР

³ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. Выполнено моделирование тепломассообменных процессов при экзогенном пожаре в тупиковой выработке шахты. Прогнозирование и оценка газовой обстановки позволяет повысить уровень обеспечения безопасности горноспасателей при ликвидации пожаров в шахтах.

Annotation (Abstract). Heat and mass transfer processes during an exogenous fire in a dead-end mine were modeled. Predicting and assessing the gas situation improves the safety of mine rescuers during mine fire suppression.

Ключевые слова: шахта; тупиковая выработка; подземный пожар; математическое моделирование тепломассообменных процессов.

Keywords: mine; dead-end workings; underground fire; mathematical modeling of heat and mass transfer processes.

Угольная промышленность – одна из ключевых отраслей народного хозяйства, залогом энергетической и государственной безопасности, гарантом бесперебойной и эффективной работы металлургической, коксохимической и других отраслей промышленности Российской Федерации. Однако при ликвидации пожаров в шахтах возникают условия, опасные для жизни горноспасателей. Особую опасность пожары представляют в тупиковых выработках. Для обеспечения безопасности труда горноспасателей необходимо осуществлять прогнозирование и оценку газовой обстановки в выработках. Актуальным направлением исследований является моделирование тепло- и массообменных процессов при экзогенном пожаре в тупиковой выработке [1].

Поскольку процесс распространения экзогенного пожара в выработке имеет газодинамическую основу, то базой математического моделирования служит система дифференциальных уравнений газовой динамики [2], а для того, чтобы математическая модель была одновременно корректной и удобной для исследований, выберем наиболее приемлемый в данном случае путь от общего к частному. С этой целью запишем систему уравнений в векторной форме Навье-Стокса для химически реагирующего газа, заполняющего объем выработки [3]

$$\frac{\partial \rho \vec{U}}{\partial t} + (\nabla \rho \vec{U}) \cdot \vec{U} = -\vec{\nabla} P + \vec{\nabla} (\mu_{\text{эф}} \nabla \vec{U}) + \vec{F}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial c_p \rho T}{\partial t} + (\vec{\nabla} c_p \rho T) \cdot \vec{U} = \nabla (\lambda_{\text{эф}} \vec{\nabla} T) + \sum_{i=1}^m q_i R_{g,i}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho C_\alpha}{\partial t} + (\vec{\nabla} \rho C_\alpha) \cdot \vec{U} = \nabla (\rho D_{\alpha,\text{эф}} \vec{\nabla} C_\alpha) + R_\alpha, \alpha = 1, \dots, m-1, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \rho \vec{U} = 0, \quad P = \rho R T \sum_{\alpha=1}^m \frac{C_\alpha}{M_\alpha}, \quad \sum_{\alpha=1}^m C_\alpha = 1, \quad (4)$$

где t – время, с;

$\vec{U}$ – вектор скорости, м/с;

ρ – плотность смеси газов, кг/м³;

P – давление, Па;

T – температура газа, К;

C_α – массовая относительная концентрация газообразного компонента α ;

M_α – молекулярный вес газообразного компонента α , кг/моль;

$\mu_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент динамической вязкости, кг/(м·с);

$\lambda_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент теплопроводности, Дж/(м·с·К);

$D_{\alpha,\text{эф}}$ – эффективный коэффициент диффузии, м²/с;

c_p – изобарная теплоемкость смеси газов, Дж/(кг·К);

q_i – тепловой эффект i -й гомогенной реакции горения, Дж/кг;

R_α – массовая скорость образования компонента α в результате гомогенных реакций горения, кг/(м³·с);

$R_{g,i}$ – массовая скорость i -й гомогенной реакции, кг/(м³·с);

m – число независимых гомогенных реакций горения;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

$\vec{F}$ – вектор массовых сил, Н.

Система уравнений (1) – (4) имеет общий вид и позволяет в случае ее решения с соответствующими краевыми (начальными и граничными) условиями получить полную картину о газовой обстановке в горной выработке при наличии в ней очага пожара [2].

Уравнение движения (1) дает величину и направление вектора скорости газа $\vec{U}$ в любой точке объема горной выработки, именно это уравнение описывает форму и направление конвективных потоков пожарных газов и воздуха в тупиковой подготовительной выработке при пожаре.

Уравнение теплопроводности (2) позволяет получить поле температур по всему объему подготовительной выработки. Это уравнение описывает перераспределение тепла как за счет теплопроводности и конвекции, так и за счет протекания гомогенных реакций горения, которые могут иметь место, как в зоне очага пожара, так и по ходу движения нагретых до высокой температуры пожарных газов в верхнем конвективном потоке.

Уравнение сохранения компонентов (3), или уравнение диффузии, описывает поля концентраций газов (метана CH₄, кислорода O₂, водорода H₂ и т.д.), число которых определяется набором химических реакций, положенных в основу кинетической модели пожара.

Граничные условия для решения системы уравнений (1) – (4) зададим следующим образом.

Не нарушая общности, примем форму тупиковой подготовительной выработки в виде полузамкнутого прямоугольного параллелепипеда (рис. 1) длиной L , высотой H и шириной $2B$. Поскольку пожарные газы – вязкие [2], то, естественно, примем равенство нулю на поверхности канала касательных составляющих вектора скорости $\vec{U}$. Направляя оси декартовой системы координат, как представлено на рис., запишем граничные условия в виде:

$$\begin{aligned} u(x, 0, z, t) = u(x, H, z, t) = u(x, y, B, t) = 0, \\ v(0, y, z, t) = v(x, y, B, t) = 0, \\ w(0, y, z, t) = w(x, 0, z, t) = w(x, H, z, t) = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

где u , v , w – компоненты вектора скорости вдоль оси x , y , z , соответственно, м/с.

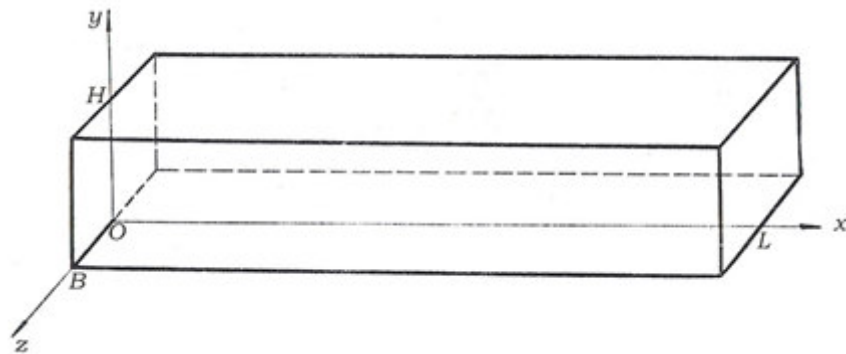


Рис. 1. Полузамкнутый прямоугольный параллелепипед, моделирующий тупиковую выработку

Рассмотрим случаи пожаров, когда их очаг находится на некотором удалении от устья выработки, достаточном для выравнивания значений искомых функций и когда можно принять в выходном сечении $x = L$. Тогда

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial C_\alpha}{\partial x} = 0. \quad (6)$$

Кроме того, на поверхности подготовительной выработки должны выполняться законы сохранения массы и энергии. С учетом происходящих на поверхности выработки гетерогенных реакций горения угля, древесины [2] эти законы запишем следующим образом. Закон сохранения энергии [4]:

$$\lambda_{\text{эф}} \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_s + \sum_{j=1}^n q_{s,j} U_{s,j} = - \lambda_m \left. \frac{\partial T_m}{\partial n} \right|_s, \quad (7)$$

$$T|_s = T_1|_s.$$

Закон сохранения массы [5]

$$\rho D_{\alpha,\text{эф}} \left. \frac{\partial C_\alpha}{\partial n} \right|_s + (\rho V)_s C_\alpha = U_\alpha, \quad (8)$$

$$(\rho V)_s = \sum_{\alpha=1}^n U_\alpha,$$

где λ_1 – коэффициент теплопроводности горного массива, Дж/(м·с·К);

T_m – температура горного массива, К;

$q_{s,j}$ – тепловой эффект j -й гетерогенной реакции горения, Дж/кг;

$U_{s,j}$ – массовая скорость j -й гетерогенной реакции, кг/(м²·с);

$(\rho V)_s$ – массовая скорость проникновения в горный массив газов с поверхности выработки, кг/(м²·с);

n – число независимых гетерогенных реакций горения;

« s » – индекс, относящийся к параметрам на поверхности.

Начальные условия для искомых функций $\rho, \vec{U}, P, T, C_\alpha$ следует определять исходя из конкретных условий решаемой задачи.

Таким образом, выполнено математическое моделирование тепломассообменных процессов при экзогенном пожаре в тупиковой выработке шахты. Прогнозирование и оценка газовой обстановки позволяет повысить уровень обеспечения безопасности горноспасателей при ликвидации пожаров в шахтах.

Перечень ссылок

1. 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.

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. Ландау, Л. Д. Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – Москва : «Наука», 1988. – 736 с.

4. Франкфурт, У. И. Закон сохранения и превращения энергии. – Москва : «Наука», 1978. – 196 с.

5. Джеммер, М. Понятие массы в классической и современной физике. – Москва : «Прогресс», 1967. – 255 с.

УДК 621:697.343

О СТРУКТУРЕ КОМБИНИРОВАННОГО ТЕПЛОВОГО ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ТРУБОПРОВОДОВ НА ПОВЕРХНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

О.Г. Кременев, А.И. Деменков

ГБУ «Макеевский научно-исследовательский институт по
безопасности работ в горной промышленности»,
г. Макеевка, ДНР

Аннотация. Выполнен анализ разработок тепловой изоляции покрытия трубопроводов, нормативных документов, регламентирующих требования к теплоизоляционному покрытию трубопроводов. Обоснована целесообразность применения комбинированного теплоизоляционного покрытия трубопроводов с воздушным прослойком в его структуре.

Abstract. The analysis of the development of thermal insulation coating of pipelines, regulatory documents regulating the requirements for thermal insulation coating of pipelines. The expediency of using a combined thermal insulation coating of pipelines with an air layer in its structure is substantiated.

Ключевые слова: анализ, воздушный слой, комбинированное теплоизоляционное покрытие, структура, теплоноситель, трубопровод, энергоэффективность.

Keywords: analysis, air layer, combined thermal insulation coating, structure, heat carrier, pipeline, energy efficiency.

Анализ состояния тепловой изоляции трубопроводов показывает, что существующие теплоизоляционные покрытия трубопроводов с теплоносителем имеющим положительную температуру не в полной мере удовлетворяют современным требованиям, определяющим их энергоэффективность. Применяемые материалы теплоизоляции с высоким значением коэффициента теплопроводности, приводят к значительным потерям тепла при транспортировке теплоносителя по трубопроводу и повышенным потреблением топлива для его нагрева. А материалы с низкими значениями коэффициента теплопроводности термонеустойчивы к высоким температурам теплоносителя. Поэтому разработка более эффективной теплоизоляции для трубопроводов любого назначения – актуальная проблема промышленной и техносферной безопасности.

Цель тезисов доклада – обоснование структуры комбинированного теплоизоляционного покрытия трубопроводов с положительной температурой теплоносителя для улучшения энергоэффективности транспортирования теплоносителя по трубопроводу.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

1. Выполнен анализ разработок и технологий, посвященных созданию энергоэффективной тепловой изоляции трубопроводов.

2. Проведен анализ теплопотерь в трубопроводах технологического комплекса поверхности угольных шахт Донецкой Народной Республики.

3. Обоснована структура комбинированного теплоизоляционного покрытия трубопроводов, включающая воздушный прослой в качестве теплоизоляционного материала.

На основе анализа патентной документации и научно-технической литературы, содержащей информацию о теплоизоляционном покрытии трубопроводов, материалов и конструкций таких покрытий, их параметров и показателей, технологий устройства, монтажа и нанесения элементов изоляции на трубопровод, установлена тенденция их развития по пути создания комбинированных многослойных систем. Ключевым моментом создания более энергоэффективного теплоизоляционного покрытия трубопровода является не просто суммирование свойств теплоизоляционных материалов и элементов конструкций, а получение синергетического эффекта от комбинации слоев, материалов и конструкций покрытия. При этом в структуре покрытия первый слой обеспечивает термостойкость и адгезию, второй – основную массу теплоизоляции, третий – механическую защиту и гидроизоляцию. Переход от однослойной изоляции к комбинированной вызван температурными ограничениями традиционных материалов с низким коэффициентом теплопроводности (до 130°C, например, для пенополиуретана) и устойчивостью к высоким температурам материалов со значительными коэффициентами теплопроводности (например, минеральной ваты). Первичные разработки теплоизоляционных покрытий трубопроводов базировались на однослойных конструкциях. Современный этап разработки теплоизоляционных покрытий трубопроводов характеризуется созданием гибридных структур, в которых тонкий высокотемпературный слой-барьер сочетается с основным слоем из пенополиуретана или полистирола.

В настоящее время в нормативных документах отсутствует термин «Комбинированное теплоизоляционное покрытие трубопроводов»

промышленного и гражданского назначения». В нормативном документе [1] применяется термин «тепловая изоляция наружной поверхности трубопроводов». Отдельные требования к комбинированным теплоизоляционным покрытиям трубопроводов регламентируются нормативными документами [2, 3]. В них содержатся требования к комбинированным мастично-ленточным покрытиям, температуре нанесения материала покрытия, технологии монтажа и нанесения элементов покрытия. ГОСТ Р 57385-2017 регламентирует тепловую изоляцию труб и соединительных деталей трубопроводов, включая комбинированные конструкции [4]. Теплоизоляционная конструкция покрытия наружной поверхности трубопроводов должна обеспечивать параметры теплохолодоносителя при эксплуатации, нормативный уровень тепловых потерь трубопроводов, безопасную для человека температуру их наружных поверхностей [1]. Структура тепловой изоляции покрытия наружной поверхности трубопроводов (далее ПНПТ) с положительной температурой теплоносителя в качестве обязательных элементов должна содержать: теплоизоляционный слой; покровный слой; элементы крепления. Структура тепловой изоляции ПНПТ с отрицательной температурой теплоносителя в качестве обязательных элементов должна содержать: теплоизоляционный слой; пароизоляционный слой; покровный слой; элементы крепления. Необходимость установки пароизоляционного слоя в структуре тепловой изоляции для поверхностей с переменным температурным режимом (от «положительной» к «отрицательной» и наоборот) определяется расчетом для исключения накопления влаги в теплоизоляционной конструкции. Антикоррозионные покрытия изолируемой поверхности не входят в состав теплоизоляционных конструкций [1].

В зависимости от применяемых конструктивных решений структура тепловой изоляции покрытия может дополнительно содержать: выравнивающий и предохранительный слои. Предохранительный слой предусматривается при применении металлического покровного слоя для предотвращения повреждения пароизоляционных материалов [1]. Перечень параметров и требований для материалов и конструкций теплового изоляционного покрытия наружной поверхности трубопроводов, применяемых в зависимости от температуры содержащихся в них веществ, способов прокладки и диаметров трубопроводов, температуры окружающей среды регламентируются Сводом правил [1].

Для проверки энергоэффективности теплоизоляционных

покрытий шахтных трубопроводов ГБУ «МАКНИИ» было проведено энергетическое обследование теплового хозяйства шахты им. А.А. Скочинского ГП «ДУЭК» и шахты «Прогресс» ГП «Торезантрацит» ДНР. В ходе обследования котельных и теплотрасс этих шахт было установлено применение на трубопроводах однослойных теплоизоляционных покрытий из пенополиуретана в качестве основного материала теплоизоляции, протяженность и надземное расположение теплотрасс. Определены диаметры трубопроводов, температура теплоносителя (воды) и другие показатели, позволившие произвести расчет тепловых потерь при транспортировании теплоносителя по цепочке: от источника генерации (котельной) по теплотрассе до конечного потребителя (калориферные установки воздухоподающих стволов, производственные помещения технологического комплекса поверхности, отопительная сеть административно-бытового комбината).

Сравнительные теплофизические расчеты величин потерь тепла существующего теплоизоляционного покрытия трубопроводов с теплоносителем, покрытого одним слоем пенополиуретана с толщиной стенки 50 мм (в качестве основного теплоизоляционного материала) и проектируемого комбинированного теплоизоляционного покрытия из пенополиуретана с воздушным прослойком толщиной 10 мм в качестве дополнительного слоя теплоизолирующего материала показал снижение потерь тепла на 12% на комбинированном покрытии. Расчет тепловых потерь производился в соответствии с требованиями [1,5]. Установленная энергоэффективность комбинированного покрытия активировала проведение специалистами ГБУ «МАКНИИ» дополнительных исследований в области расчетного обоснования и последующего определения оптимальных параметров комбинированного теплоизолирующего покрытия, базирующегося на применении пенополиуретана с несколькими воздушными прослойками в составе его структуры. Исследования включили проведение патентного поиска по обоснованию параметров комбинированного теплоизоляционного покрытия с воздушными прослойками в структуре теплоизоляции. Результаты патентного поиска позволили установить, что главным условием достижения эффективной теплоизоляции является изолированность воздушного прослойка, то есть отсутствие его непосредственного контакта с трубопроводом и внешней средой. Такая структура теплоизоляционного покрытия предотвращает возникновение конвективных потоков внутри воздушной прослойки и исключает увлажнение воздуха (которое резко увеличивает его

теплопроводность). Выбор и обоснование наиболее энергоэффективного варианта теплоизоляционного покрытия будет осуществлен теоретическими расчетами различных вариантов комбинированного покрытия с воздушными прослоями и экспериментальной проверкой результатов для выбора оптимального решения.

ВЫВОДЫ

1. Анализ нормативных документов, регламентирующих требования к структуре теплоизоляционного покрытия трубопроводов, транспортирующих теплоноситель, и величин теплотерь в теплотрассах технологического комплекса поверхности обследованных угольных шахт, показал целесообразность разработки структуры комбинированного теплового изоляционного покрытия с включением воздушных прослоев в качестве теплоизоляционного материала.

2. Размещение в структуре теплоизоляционного материала пенополиуретана воздушного прослойка толщиной 10 мм дало снижение потерь тепла на 12% и увеличение энергоэффективности транспортирования теплоносителя по трубопроводам шахт.

Перечень ссылок

1 **СП 61.13330.2012** Свод правил. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Designing of thermal insulation of equipment and pipe lines. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003. – Текст: электронный // Техноникель: [сайт]. – 2026. – URL: <https://nav.tn.ru/cloud/iblock/034/03415e82babc95db8d2f4de3999711d9/SP-61.13330.2012-Teplovaya-izolyatsiya-oborudovaniya-i-truboprovodov.pdf?ysclid=mmokcxvgjo241663911> (дата обращения 18.03.2026).

2 **СП 409.1325800.2018** Свод правил. Трубопроводы магистральные и промысловые для нефти и газа. Производство работ по устройству тепловой и противокоррозионной изоляции, контроль выполнения работ. – Москва: Минстрой России, 2018; Москва: Стандартинформ, 2019. – 46 с.

3 **СНиП 41-02-2003** Свод правил. Тепловые сети. Актуализированная редакция: СНиП 41-02-2003 Thermal networks. – Текст: электронный // Охрана труда в России: [сайт]. – 2026 – URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/e08/4293788792.pdf?ysclid=mmvdpd06489876849677> (дата обращения 23.03.2026).

4 **ГОСТ Р 57385-2017** Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Строительство магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Тепловая изоляция труб и соединительных деталей трубопроводов. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 31 с.

5. Расчет тепловой изоляции по СП 61.13330 для теплотехников. Теплоизоляция трубопроводов: толщина изоляции 20-100 мм. – Текст: электронный // Inner engineering: [сайт]. – 2015-2026. – URL: <https://inner.su/articles/teploizolyatsiya-truboprovodov-tolshchina-izolyatsii-20-100-mm/?ysclid=motwgvo2u3800760188> (дата обращения 06.05.2026).

УДК 622.867:[533.65.013.622:622.41]

**ПАРАМЕТРЫ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО
АППАРАТА ДЛЯ РАЗВЕДКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
АВАРИЙНЫХ УЧАСТКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ
ДИСТАНЦИОННЫМ СПОСОБОМ ПРИ ВЕДЕНИИ
ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

Е.В. Курбацкий¹, А.В. Агарков^{1,2}, В.Н. Радионенко³, Д.Д. Вережак³

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

³ ДОННАСА – филиал НИУ МГСУ,

г. Макеевка, ДНР

Аннотация. *Представлены результаты экспериментальных исследований по использованию беспилотных летательных аппаратов в подземных условиях и представлены параметры аппарата для дистанционной разведки горных выработок аварийных участков шахт при ведении горноспасательных работ.*

Annotation (Abstract). *The article presents the results of experimental studies on the use of unmanned aerial vehicles in underground conditions and the parameters of an apparatus for remote reconnaissance of mine workings in emergency mine sections during mine rescue operations.*

Ключевые слова: *шахта; горноспасательная служба; беспилотные летательные аппараты; разведка аварийного участка дистанционным способом.*

Keywords: *mine; mine rescue service; unmanned aerial vehicles; remote reconnaissance of an emergency area.*

Основные направления развития горноспасательной службы и приоритетные программы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ научных и проектных организаций в сфере горноспасательного дела в настоящее время посвящены разработке и внедрению в производственную деятельность инновационных робототехнических комплексов и беспилотных летательных аппаратов, которые позволят снизить до минимума риск травматизма и смертности среди горноспасателей, выполняющих аварийно-спасательные работы на различных горных предприятиях [1].

Угольная промышленность – одна из ключевых отраслей

народного хозяйства России [2], однако при постоянном повышении уровня промышленной безопасности и противопожарной защиты в шахтах подземные аварии и аварийные ситуации имеют частый характер. Наиболее распространенные виды аварий в шахтах – пожары, при ликвидации последствий которых возникают условия, опасные для жизни горноспасателей. Пожары в шахтах также могут осложняться взрывами газовоздушной смеси и угольной пыли, основным поражающим фактором в данном случае является воздушная ударная волна, распространяющаяся по горным выработкам от центра взрыва со сверхзвуковой скоростью. При возникновении таких аварий в шахтах немедленная разведка горных выработок, поиск пострадавших и определение состава шахтной среды является одним из решающих факторов влияния на выбор мероприятий по дальнейшему ведению аварийно-спасательных работ.

При ведении разведки горноспасатели определяют:

- места возникновения и установления вида аварии, а также возможные направления ее распространения;
- количество застигнутых аварией людей, вероятные места их нахождения для оказания помощи и их спасения;
- состав шахтной среды (концентрации газов и температура воздуха) в горных выработках аварийного участка, состояние выработок и условия их проветривания.

При выполнении разведки горных выработок аварийного участка шахты, контроле состава шахтной среды, возведении изолирующих сооружений и проведении других видов горноспасательных работ известны случаи травмирования и гибели горноспасателей. Примерами тому могут послужить аварии на шахтах: «Распадская» (2010 г.), «им. А.Ф. Засядько» (2007 и 2015 гг.), «Северная» (2016 г.).

На основании вышеизложенного можно выделить актуальное научное направление, посвященное разработке новых и совершенствованию существующих способов и технических средств дистанционной разведки горных выработок аварийных участков угольных шахт горноспасательными подразделениями.

Решение данного вопроса основывается на двух вариантах путем:

- применения робототехнических комплексов на колесном или гусеничном ходу;
- использования беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА), которым можно управлять через тонкий оптоволоконный кабель или радиоканал.

Одним из интересных и перспективных вариантов решения научно-технической задачи может рассматриваться разработка

специализированных беспилотных летательных аппаратов [3]. Поэтому было принято решение провести экспериментальные исследования по использованию БПЛА в условиях учебно-тренировочного полигона подземного типа ФГУП «ВГСЧ ДНР» с целью оценки возможности проведения разведки аварийных участков в шахтах дистанционным способом.

В качестве БПЛА использовался стандартный DJI Phantom 1, оснащенный светодиодными индикаторами высокой чувствительности. Благодаря этим элементам он легко ориентируется в пространстве. Индикаторы расположены под каждым отдельно взятым ответвлением, на котором сверху есть пропеллеры. Крепление для камеры находится снизу БПЛА. Для управления БПЛА DJI Phantom 1 используется дистанционный пульт с радиусом действия до 1000 м. Разработчики предусмотрели несколько режимов управления, в том числе и возможность удерживания устройством заданной позиции в воздухе.

Задача эксперимента заключалась в проверке эксплуатационной способности БПЛА, дальности сигнала связи БПЛА с пультом дистанционного управления, проверка радиуса действия (дальности связи передатчика) в подземных условиях. При этом особый интерес вызывал вопрос: на каком расстоянии, и при каких обстоятельствах в подземных условиях связь БПЛА с пультом дистанционного управления будет потеряна.

На рис. 1 представлен маршрут испытаний БПЛА в условиях учебно-тренировочного полигона подземного типа. Маршрут испытаний БПЛА был следующим. После спуска наклонным стволом и перехода по сбойке к уклону, оператор с пультом дистанционного управления БПЛА остановился на позиции (1), указанной на рис. 1. Была проведена проверка, настройка и калибровка БПЛА. После включения БПЛА и запуска его в работу, второй участник испытаний проследовал по уклону вниз до позиции (2), держа постоянную связь с оператором и контролируя непрерывно диапазон работы БПЛА (радиус действия, дальность связи передатчика в подземных условиях). Дойдя до позиции (2), убедившись, что сигнал связи БПЛА с пультом управления не был потерян, БПЛА и камера функционируют, дальнейший маршрут предполагал переход по западному откаточному штреку в тупик до позиции (3). После достижения данной позиции, второй участник испытаний снова убедился, что сигнал связи передатчика не был потерян, БПЛА и камера функционируют. Вернувшись обратно до позиции (2) и связавшись с оператором, принято решение опробовать

работоспособность БПЛА, добравшись до позиции (4) – в противоположную сторону до тупика. Результат показал работоспособность (эксплуатационную способность) БПЛА по данному маршруту, сигнал связи БПЛА (радиоканал) с пультом управления в подземных условиях был стабилен, независимо от разности наклона и протяженности выработок.

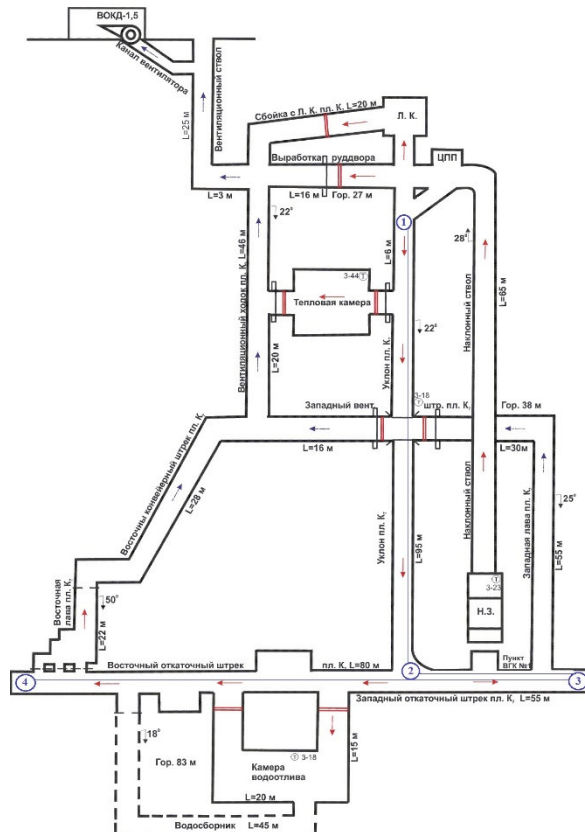


Рис. 1. Маршрут испытаний БПЛА в условиях учебно-тренировочного полигона подземного типа: 1, 2, 3, 4 – позиции маршрута

Таким образом, первичная оценка эксплуатационной способности БПЛА в подземных условиях подтвердила его работоспособность. Однако специализированный БПЛА для использования подразделениями горноспасательной службы, как вспомогательный инструмент при проведении поисковых и разведочных операций, должен быть оснащен, помимо камеры, датчиками температуры и концентраций газов, а также тепловизором, что позволит передавать видеосигнал и проводить анализ шахтной среды в горных выработках аварийных участков на наличие взрывоопасных концентраций, определять местонахождения пострадавших горняков. При этом БПЛА должен быть оснащен искро- и взрывозащищенным бесщеточным двигателем постоянного тока для надежной работы в опасных средах. Камера на БПЛА должна иметь функции разворота и

наклона с целью обнаружения препятствий, завалов и пр.

Также следует отметить одно обстоятельство, отличающее специализированный БПЛА для подземных условий от стандартного (обычного): оператор должен осматривать объекты на малом расстоянии от них. Это требует стабильной «неподвижности» БПЛА с хорошей дискретностью управления его угловым положением.

Помимо вышеизложенного, для предотвращения столкновений и повреждений винтов специализированный БПЛА для шахт должен быть оснащен «защитным корпусом», например, сферической ударопрочной защитной решеткой, с достаточным пределом прочности и высокими антикоррозийными свойствами (рис. 2а).

В условиях задымленности горных выработок аварийного участка шахты возможно использование видео устройства, которое позволяет обнаруживать сквозь довольно сильную задымленность и отсутствие света, людей и другие источники тепла, идентифицировать инфраструктурные объекты и предметы, выполнять запись видеоизображения в инфракрасном спектре, воспроизводить и передавать эти видеозаписи.

Актуальным направлением дальнейших исследований является апробация в условиях подземных горных выработок БПЛА, которым управляют через тонкий оптоволоконный кабель (рис. 2б), а не по радиоканалам. Оптоволокну необходимо использовать, чтобы преодолеть «уязвимость» БПЛА на радиоуправлении в условиях глубоких угольных шахт.



Рис. 2. Примеры БПЛА:

а) в защитном корпусе; б) управляемый через оптоволоконный кабель

Функционирование таких БПЛА основано на передаче данных через оптоволоконный кабель, который соединяет беспилотник со станцией оператора. Их постоянную связь поддерживает кабель, который разматывается с катушки. По отдельному кабелю также должно осуществляться непрерывное электропитание БПЛА.

Дополнительные исходные требования к шахтному БПЛА:

- максимальные габаритные размеры: 1,0×1,0×1,0 м;
- минимальная длина оптоволоконного кабеля – 3000...5000 м;
- минимальное время полета – 120 мин;
- возможность повторного использования кабельной продукции;
- наличие защитного кожуха;
- сила тяги винтов БПЛА должны превышать ветровую нагрузку, образуемую потоком воздуха с температурой +25 °С и со скоростью 6 м/с;
- скорость полета должна регулироваться в пределах 0...6 м/с, а при малых скоростях – не более 1 м/с (с режимом зависания).

Таким образом, для решения задачи дистанционной разведки аварийных участков шахт весьма эффективным способом может стать использование БПЛА в специальном защитном корпусе, искро- и взрывобезопасном исполнении, который должен быть оснащен камерой, датчиками температуры, газов, тепловизорами и др.

Внедрение данного оборудования – один из важных этапов повышения безопасности труда горноспасателей ФГУП «ВГСЧ» в угольных шахтах при ведении разведки аварийных участков дистанционным способом.

Перечень ссылок

1. Аксенов, В. В. Перспективы развития горноспасательного дела в России (доклад на VIII международной горноспасательной конференции IMRB-2017) / В. В. Аксенов // Уголь. – 2017. – № 11. – С. 20–23.
2. 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.
3. Ким, М. Л. Автоматизированная информационная система горноспасательных частей на основе беспилотных летательных аппаратов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Ким Максим Ленсович. – Москва, 2018. – 115 с.

УДК 622.865:622.42

СПАСАТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТ

Е.В. Курбацкий¹, А.В. Мавроди², А.В. Агарков^{1,2}, А.В. Тасынич¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Представлены новые подходы к повышению безопасности в угольных шахтах – использование спасательных камер в горных выработках. Даны рекомендации по составлению отдельных позиций планов ликвидации аварий в выработках, проветриваемых за счет общешахтной депрессии и не имеющих запасного выхода.

Abstract. New approaches to improving safety in coal mines are presented – the use of rescue chambers in mine workings. Recommendations are given on drawing up individual items of emergency response plans in mine workings ventilated by means of general mine depression and having no emergency exit.

Ключевые слова: шахта; горная выработка; аварийно-спасательные работы; запасной выход; камера спасательная; безопасность труда.

Keywords: mine; mine workings; emergency rescue operations; emergency exit; rescue chamber; occupational safety.

На сегодняшний день на большинстве угольных предприятий Донецкой Народной Республики отсутствует возможность для поддержания и организации обустройства запасных выходов из подземных горных выработок. Как правило, в данных выработках работают горнорабочие в малом количестве. Они выполняют разного рода технические мероприятия по поддержанию горного предприятия (водоотлив, погашение выработок, демонтаж оборудования и др.).

Одними из наиболее опасных аварий на угольных шахтах являются пожары, которые в среднем составляют около 45 % от общего количества подземных аварий, произошедших на шахтах за последние 10 лет. Согласно официальным данным об аварийности в шахтах, свыше 95 % всех случаев гибели людей при подземных пожарах связаны с изменением состава шахтной среды и распространением по сети горных выработок пожарных газов [1].

При возникновении пожара в действующих выработках должна

быть обеспечена эвакуация работников шахты на поверхность или в выработки со свежей струей воздуха согласно Планам ликвидации аварий (далее – ПЛА). Данное требование может быть реализовано исключительно при наличии запасных выходов, рабочих средств проветривания и вентиляционных сооружений, что в условиях шахт, закрывающихся или работающих в режиме сухой консервации, практически не выполняется, а это, в свою очередь, осложняет эвакуацию людей и ведение горноспасательных работ при авариях.

Действия горноспасателей при возникновении подземных аварий осуществляются в строгом соответствии с ПЛА. При этом меры, направленные на спасение людей из вышеуказанных выработок, в действующих нормативных документах не указаны.

Поэтому разработка рекомендаций, позволяющих повысить безопасность работников шахт при экзогенных пожарах, является актуальной научно-практической задачей.

В настоящее время на шахтах внедрена многоступенчатая система самоспасения горняков, которая предусматривает применение индивидуальных и коллективных средств, а также способов защиты работников от отравления пожарными газами. Обязательным условием для спасения людей в случае превышения времени передвижения в непригодной для дыхания шахтной среде, необходимо монтировать пункты переключения в резервные самоспасатели (далее – ППС) или пункты коллективного спасения персонала шахт (далее – ПКС).

Использование ППС – одно из эффективных мер при передвижении людей по задымленным горным выработкам и малоэффективно при отсутствии выхода (безопасного). Это связано с большой протяженностью горных выработок, обязывающих горные предприятия оборудовать ПКС в качестве дополнительного средства самоспасения людей или обустраивать камеры-убежища [2].

На территории России среди угледобывающих регионов первый ПКС (КJYF-96/10) получил внедрение в Кузбассе (рис. 1) на шахте им. В.Д. Ялевского АО «СУЭК-Кузбасс», после аварии, произошедшей в 2010 году на шахте «Распадская» (г. Междуреченск), когда погиб 91 горняк [3, 4].



Рис. 1. Пункт коллективного спасения персонала [KJYF-96/10](#)

Однако применение таких модульных ПКС в условиях закрывающихся шахт или работающих в режиме сухой консервации, экономически нецелесообразно. Поэтому для повышения безопасности работников, находящихся в выработках, не имеющих запасного выхода и проветриваемых за счет общешахтной депрессии, например, при экзогенных пожарах, предлагаются следующие рекомендации при составлении отдельных позиций ПЛА:

- при экзогенном пожаре (задымлении) в горных выработках, прилегающих к аварийной выработке, не имеющей запасного выхода, рекомендуется передвижение работников навстречу движения вентиляционной струи с целью выхода из аварийного участка, при условии, что температура позволяет пройти опасный участок;

- с целью снижения скорости распространения очага пожара и возможности ведения горноспасательных работ по спасению людей, рекомендуется выполнять мероприятия, направленные на сокращение расхода воздуха в выработке. Наиболее эффективным является установка регуляторов расхода воздуха («аэродинамического сопротивления»). Целесообразность применения такого способа определяется при компьютерном моделировании вентиляционной сети шахты;

- в местах, определенных главным инженером шахты, необходимо установить аншлаги (таблички) с наименованиями выработок, указатели с направлениями движения работников, различные знаки безопасности и сигнальные устройства из специального материала (например, светоотражающего);

- в качестве временного укрытия работников шахт предлагается устройство стационарной спасательной камеры (ниши), которая представлена на рис. 2. В данной камере необходимо предусмотреть специальные средства проветривания, отводы от трубопроводов

сжатого воздуха (при наличии сжатого воздуха), дополнительные изолирующие средства защиты органов дыхания, средства медицинской помощи, связь (телефонную), а также запас еды и воды. Герметизация камеры должна быть эффективной, чтобы исключить возможность попадания внутрь пожарных газов.

При повреждении телефонной связи или при отсутствии информации о месте возникновения очага пожара, работникам необходимо включиться в самоспасатели и направиться в спасательную камеру с целью ожидания прибытия отделений горноспасателей.

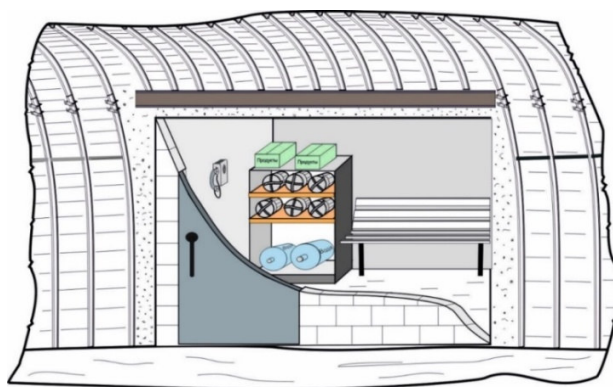


Рис. 2. Стационарная спасательная камера (ниша)

Таким образом, представлены новые подходы к повышению безопасности ведения горноспасательных работ. Даны рекомендации по составлению отдельных позиций планов ликвидации аварий в горных выработках, проветриваемых за счет общешахтной депрессии и не имеющих запасного выхода, при экзогенных пожарах.

Перечень ссылок

1. Пашковский, П.С. Проветривание шахт при подземных пожарах / П.С. Пашковский, В.И. Лебедев. – Донецк: «Арпи», 2012. – 448 с.
2. Ильинский, Э.Г. Требования к оборудованию и размещению камер-убежищ в горной выработке / Э.Г. Ильинский, Е.И. Конопелько, В.К. Овчаров // Пути повышения безопасности горных работ в угольной отрасли: сборник тезисов докладов 11-й Международной научно-практической конференции. – Макеевка, 2007. – С. 65-67.
3. Черепов, А.А. Концепция создания пунктов коллективного спасения персонала при аварийной ситуации / А.А. Черепов [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности: научно-технический журнал. – 2015. – № (2). – С. 6-15.
4. Апальков, А.С. Безопасность шахтеров в аварийных условиях угольных шахт / А.С. Апальков, А.С. Голик, В.А. Зуборева // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности: научно-технический журнал. – 2011. – № (2). – С. 81-83.

УДК 614.843.27:614.842.83.081

**АВТОНОМНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СУШКИ ПОЖАРНЫХ
НАПОРНЫХ РУКАВОВ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ
ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОЙ СЛУЖБЫ**

Е.В. Курбацкий¹, А.В. Осадчий², А.В. Агарков^{1,2}, В.Д. Редькина¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

***Аннотация.** Обоснованы параметры усовершенствованного сушильного шкафа на основании расчетов теплового баланса, производительности, мощности нагревательных элементов и расхода тепла на сушку пожарных напорных рукавов. Шкаф отличается от существующих аналогов возможностью его перевозки на транспорте и автономной работы на месте ведения горноспасательных работ в любой сезон.*

***Annotation.** The parameters of the improved drying cabinet were substantiated based on calculations of the heat balance, performance, heating element power, and heat consumption for drying fire hoses. The cabinet differs from existing analogues in that it can be transported by vehicle and operate autonomously at the mine rescue site in any season.*

***Ключевые слова:** горноспасательная служба; пожарный напорный рукав, установка для сушки рукавов.*

***Keywords:** mine rescue service; fire hose, hose drying unit.*

Выполнение профессиональных задач горноспасательными подразделениями, в том числе ликвидация пожаров на различных объектах, происходит в сложных и опасных условиях.

Значительный вклад в решение проблемы пожаротушения внесли ученые путем создания новой и повышения эффективности применяемой пожарной техники, а также обеспечения ее работоспособности в экстремальных условиях. При этом обзор работ [1, 2] позволил установить, что одним из наименее исследованных в настоящее время остается вопрос технического обслуживания пожарных напорных рукавов (далее – ПНР), которые используют значительно чаще, чем другие виды пожарного оборудования.

ПНР имеют особенное значение в процессе организации тушения пожара: чем выше вероятность рабочего состояния ПНР – тем больше

уверенности у спасателей в успехе пожаротушения.

Значительную часть эксплуатации ПНР (по затратам времени, труда и материальных средств) составляет процесс их сушки после тушения пожара. Применяемое для этих целей оборудование является стационарным и основанным на технологии продувки ПНР теплым потоком воздуха, что вызывает необходимость в большом помещении, а также специальном оснащении для развешивания ПНР.

На практике встречается большое количество различных типов сушилок, как по конструкции, так и по способу подвода тепла к высушиваемому материалу. Для обеспечения сушки в Российской Федерации применяют следующие типы сушилок: башенная, барабанная, сушка ПНР в шкафу.

Недостаток башенных сушилок обусловлен высокой стоимостью, низким коэффициентом полезного действия, неравномерностью сушки ПНР, трудностями регулирования параметров теплоносителя. Нарушения режимов сушки (временного и температурного) приводят к преждевременному изнашиванию (и даже старению) ПНР, вследствие чего значительно сокращается их срок службы согласно данным в работе [3]. Соответственно слабым звеном в существующей системе обслуживания ПНР является их сушка, как весьма трудоемкий и продолжительный процесс. При этом не исследованным остается вопрос сушки ПНР сразу после их эксплуатации на месте ведения аварийно-спасательных работ в летний и зимний периоды.

Особо сложная ситуация возникает при каждодневных и весьма удаленных пожарах, когда отсутствует возможность доставки ПНР в пожарно-спасательные и горноспасательные подразделения с целью их сушки на стационарно установленном оборудовании. В таких случаях для поддержания ПНР в рабочем состоянии необходима их сушка на месте ведения спасательных работ, что возможно осуществить при наличии автономных мобильных установок, перевозимых на автотранспорте [4]. Таким образом, актуальная научная задача – обоснование параметров автономного малогабаритного шкафа для сушки рукавов, предназначенного для эксплуатации в летний и зимний периоды.

Обоснование основных параметров шкафа сушильного БРИЗ осуществляем согласно методике, изложенной в работе [5].

Принимаем следующие исходные данные: сушке подвергаются ПНР, длиной 20 м и внутренним диаметром 77 мм, латексированные, с каркасом из синтетических (высокопрочных полиэфирных) нитей. Согласно экспериментальным данным [5], масса мокрого ПНР составляет 12,12 кг, сухого – 10,13 кг, пересушенного – 9,715 кг.

Начальную ω_1 , %, и конечную ω_2 , %, влажность материала ПНР определяют согласно формулам (1) и (2)

$$\omega_1 = \frac{m_m - m_{\text{пер}}}{m_m} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где m_m – масса мокрого ПНР, кг;
 $m_{\text{пер}}$ – масса пересушенного ПНР, кг,

$$\omega_2 = \frac{m_c - m_{\text{пер}}}{m_c} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где m_c – масса сухого ПНР, кг.

Исходя из проведенных расчетов, $\omega_1 = 19,85$ %, $\omega_2 = 4,1$ %.

Согласно работе [5], оптимальные параметры сушки ПНР: время сушки $\tau_c = 2$ ч (7200 с), температура воздуха $\theta = 50$ °С, удельная теплоемкость материала ПНР $C_m = 1130$ Дж/(кг·К). Исходя из конструктивных возможностей принимаем, что в шкафу сушильном БРИЗ одновременно высушивают четыре ПНР. Принимаем, что на выходе из шкафа воздух имеет относительную влажность $\phi = 80$ %, а потери тепла от поверхности шкафа в окружающую среду составляют 10 % от общего расхода тепла на нагревание ПНР.

Общее количество удаляемой влаги $W_{\text{об}}$, кг, определяют по формуле

$$W_{\text{об}} = N(m_m - m_c), \quad (3)$$

где N – количество ПНР, одновременно подвергаемых сушке, ед.

Исходя из проведенных расчетов, $W_{\text{об}} = 7,96$ кг.

Количество удаляемой влаги в единицу времени W' , кг/ч, определяют по формуле

$$W' = \frac{W_{\text{об}}}{\tau_c}. \quad (4)$$

Массовый расход материала, поступающего на сушку ПНР G_1 , кг/ч, определяется по формуле

$$G_1 = \frac{N \cdot m_m}{\tau_c}, \quad (5)$$

и составляет 24,24 кг/ч.

Принимаем следующие исходные данные: ПНР загружают

в шкаф при начальной влажности $\omega_1 = 19,84 \%$ и начальной температуре $\theta_1 = 10^\circ\text{C}$, высушивают до конечной влажности $\omega_2 = 4,27 \%$ и извлекают из шкафа при конечной температуре $\theta_2 = 35^\circ\text{C}$. Производительность шкафа, исходя из высушенных ПНР (массовый расход материала высушенных ПНР) G_2 , кг/ч, определяется по формуле

$$G_2 = G_1 - W', \quad (6)$$

и составляет 21,06 кг/ч.

Удельный расход тепла на нагревание ПНР q_m , Дж/кг, определяется по формуле

$$q_m = \frac{G_2 \cdot C_m (\theta_2 - \theta_1)}{W'}, \quad (7)$$

и составляет 143663 Дж/кг.

Потери тепла в окружающую среду q_n , Дж/кг, определяются по формуле

$$q_n = 0,1 \cdot q_m, \quad (8)$$

и составляют 14366 Дж/кг.

Количество тепла, подводимого в шкаф сушильный БРИЗ, рассчитывают в общем случае с учетом потерь тепла с уходящим воздухом, на испарение влаги из высушиваемого материала, на нагревание высушиваемого материала и в окружающую среду.

В таком случае невязку теплового баланса шкафа сушильного БРИЗ, ΔQ , Дж/кг, определяют по формуле

$$\Delta Q = C_v \theta_1 - (q_m + q_n), \quad (9)$$

где C_v – теплоемкость воды, 4190 Дж/(кг·К).

Исходя из проведенных расчетов, $\Delta Q = 153839$ Дж/кг.

Дальнейший расчет был проведен отдельно для летних и зимних условий. Установлено, что мощность нагревательных элементов должна быть не менее 3 кВт при сушке четырех ПНР в летний период и не менее 5 кВт при сушке четырех ПНР в зимний период.

Для сушки ПНР различных типоразмеров предлагается конструкция шкафа сушильного БРИЗ, представленная на рис. 2.

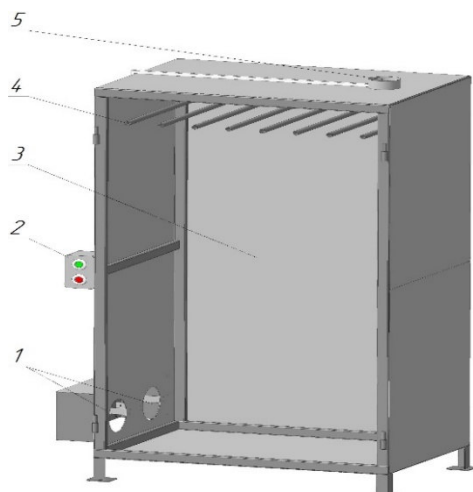


Рис. 2. Конструкция шкафа сушильного BRIZ:

- 1 – встроенные тепловые вентиляторы; 2 – пульт управления;
3 – корпус шкафа сушильного; 4 – вешалки для развешивания ПНР;
5 – вытяжной вентилятор

Обоснованы параметры усовершенствованного сушильного шкафа «БРИЗ» на основании расчетов теплового баланса, производительности, мощности нагревательных элементов и расхода тепла на сушку пожарных напорных рукавов. Шкаф отличается от существующих аналогов возможностью его перевозки на транспорте и автономной работы на месте ведения горноспасательных работ в летний и зимний периоды времени.

Перечень ссылок

1. Елфимова, М.В. Актуальные проблемы обслуживания пожарных рукавов / М.В. Елфимова, Г.Ф. Архипов // Проблемы управления рисками в техносфере. – СПб: Изд. УГПС МЧС России. – 2011. – № 3 (19). – С. 35-40.
2. Яковенко, Ю.Ф. Пожарно-техническое вооружение на пожарных автомобилях: использование и принципы размещения / Ю.Ф. Яковенко // ПАСС: журн. – 2007. – № 3. – С. 14-18.
3. Безбородько, М.Д. Пожарная техника. – М.: АГПС МЧС России, 2004. – 550 с.
4. Елфимова, М.В. О проблеме обеспечения эффективности эксплуатации напорных рукавов пожарных автомобилей в современных условиях / М.В. Елфимова, А.А. Носенков // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. – СПб: Изд. УГПС МЧС России. – 2013. – № 1. – С. 68-72.
5. Елфимова, М.В. Разработка мобильного комплекса по оперативному восстановлению готовности пожарных подразделений за счет тепловакуумной сушки рукавов: дис. канд. техн. наук. – СПб., 2013. – 219 с.

УДК 622.5:622.3:622.276.5

КОНСТРУКЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СМЕСИТЕЛЕЙ МАЛОПОГРУЖНОЙ ЭРЛИФТНОЙ УСТАНОВКИ

А. И. Леженин

ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ», г. Донецк, ДНР

Аннотация В статье рассмотрены малопогружные эрлифтные установки, применяемые для очистки шахтных водосборных емкостей. Показано, что классическая схема обладает меньшими гидравлическими потерями и более высокой надежностью. Установлено, что перфорированная конструкция обеспечивает более интенсивное смешение водо-воздушной гидросмеси и предотвращает заиливание смесителя.

Ключевые слова: шахтные водосборные емкости, гидромеханизация шахт, малопогружной эрлифт, смеситель эрлифта, гидросмесь, перфорированный патрубков, заиливание.

Annotation The article discusses low-submersion erlift installations used for cleaning mine water-collection tanks. It is shown that the classical scheme has lower hydraulic losses and higher reliability. It is established that the perforated design provides more intensive mixing of water-air hydromixture and prevents the silting of the mixer.

Keywords: mine water collection tanks, mine hydraulic mechanization, low-submersion erlift, erlift mixer, hydro-mixture, perforated branch pipe, silting.

Основной текст

Вопрос механизации и гидромеханизации шахт остается важным и актуальным в особенности на фоне развития идеи безлюдной выемки угля. Для этого в разные периоды предлагались различные методы. В том числе применения эрлифтных установок различных конструкций. В статье «Особенности очистки шахтных водосборных емкостей малопогружными эрлифтными установками» нами были уже рассмотрены требования к эрлифтам применяемым в очистке шахтных водосборных емкостей.

Исходя из изложенного, к эрлифтным установкам, как средствам очистки шахтных водосборных емкостей, предъявляются нижеприведенные требования [1, 2].

1. Обеспечивать устойчивую работу при откачке шахтной воды из водосборных емкостей при относительных погружениях смесителя $\alpha < 0,15$.
2. Для надежного транспортирования твердого обеспечивать скорость несущего потока в подающей трубе эрлифта $\geq 1,4 \div 2,0$ м/с.
3. Подающая часть эрлифта должна обеспечивать прохождение кусков твердого размером до 50 мм в подъемную трубу.
4. В случае необходимости обеспечивать полное удаление шахтной воды из водосборной емкости.
5. Обеспечивать приемлемую энергетическую эффективность рабочего процесса, эрлифтной установки

Приведенные требования для работы в условиях очистки шахтных водосборных емкостей в настоящее время соответствует предлагаемая малопогружная эрлифтная установка

Описание схемы малопогружной эрлифтной установки со струйным аппаратом (рис. 1), способ вывода на рабочий режим и особенности ее эксплуатации приведено в [2].

Существует несколько типов конструкций смесителей эрлифта в данной статье нами рассматривается два типа. Классическая и с перфорацией всасывающего патрубка.

Каждый из типов обладает несколькими плюсами относительно друг друга.

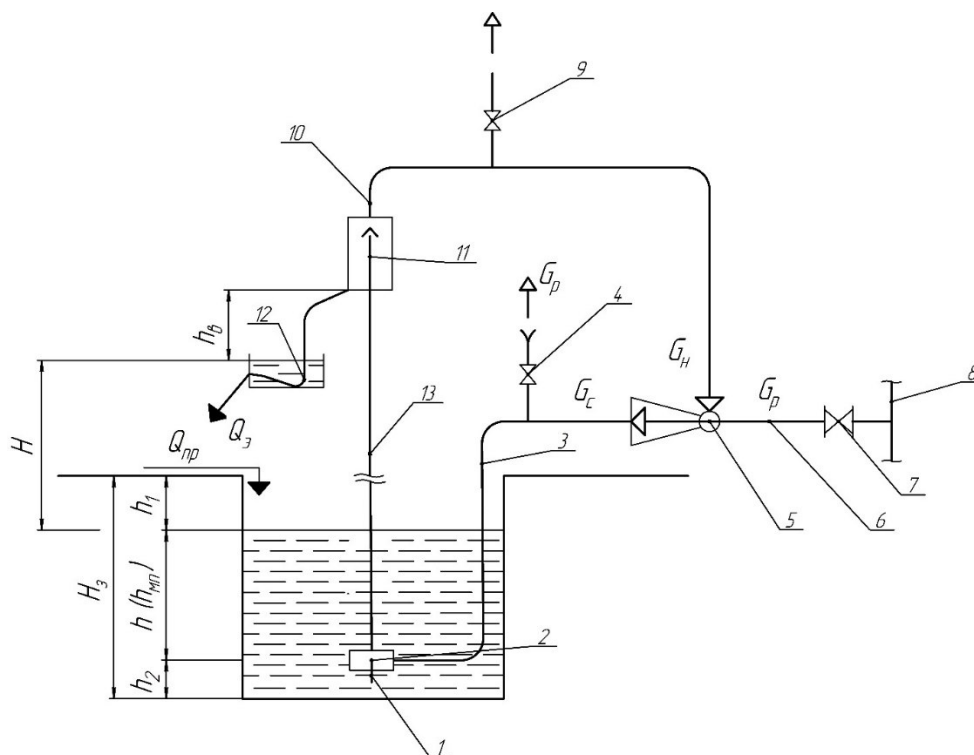


Рис 1. Схема малопогружной эрлифтной установки.

1 – подающая труба; 2 – смеситель; 3 – воздухопадающая труба; 4,7,9 – задвижки; 5 – воздуструйный аппарат; 6 – трубопровод рабочего потока; 8 – шахтная пневмосеть; 10 – отводящий воздухопровод; 11 – подъемная труба; 12 – гидравлический затвор; 11 – воздухоотделитель; 12 – гидравлический затвор; $Q_{пр}$ – приток шахтный вод в зумпф; $Q_э$ – подача эрлифта.

Классическая схема эрлифтного смесителя отличается более простой конструкцией, что облегчает изготовление, монтаж и обслуживание аппарата. Отсутствие перфорированных элементов и сложных распределительных зон повышает общую надёжность системы и снижает вероятность засорения при работе с загрязнёнными или содержащими взвеси средами. Кроме того, такая конструкция обладает меньшим гидравлическим сопротивлением, поскольку поток движется по более свободному каналу без дополнительных локальных препятствий, что уменьшает потери давления и снижает необходимый расход воздуха для работы эрлифта.

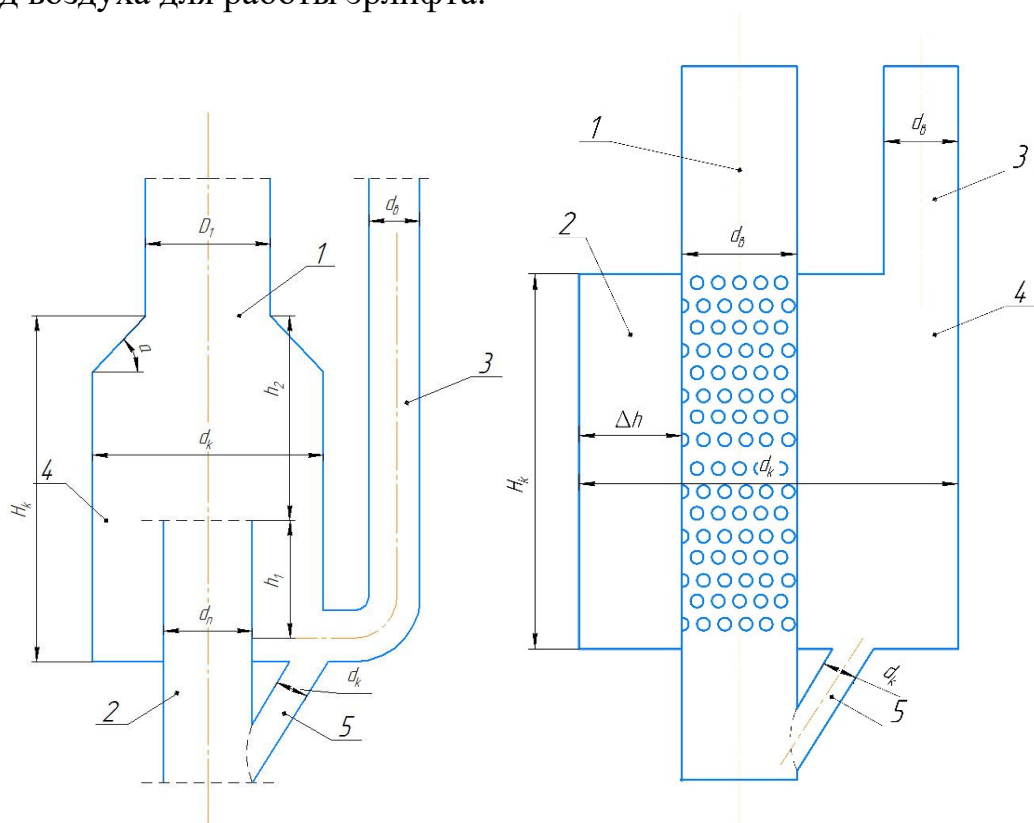


Рис 2. Принципиальные схемы смесителя. 1 – подъемная труба. 2 – всасывающий патрубок. 3 – Воздухоподвод. 4 – камера смешения. 5 – подвод воздуха к всасывающему патрубку

*а) классическая схема $d_k = (2...3)d_n$ $H_k = (3,0...4,0)d_n$ $\alpha_k = \alpha_z = 60^\circ$
 $d_z = (0,5...1,0)d_n$ $h_1 = (1,0...1,5)d_n$ $h_2 = (2,0...2,5)d_n$ б) с перфорацией
всасывающего патрубка $d_0 = 3...6$ мм $d_k = (2,5...3)d_n$ $H_k = (3,0...4,0)d_n$
 $d_z = (4,5...10)d_n$ $\alpha_k = 45...60^\circ$ $\Delta h = (0,3...0,5)d_n$*

Конструкция с перфорированным патрубком обеспечивает более интенсивное смешение водо-воздушной гидросмеси благодаря распределённой подаче воздуха через множество отверстий. Это способствует дроблению пузырьков, увеличению межфазной поверхности и более равномерному распределению потоков по объёму аппарата. В результате улучшается качество перемешивания и эффективность массообмена. Дополнительным преимуществом такой схемы является предотвращение заиливания смесителя, поскольку перфорированная зона создаёт локальные турбулентные потоки и препятствует образованию застойных участков, где могли бы накапливаться осадки и твёрдые частицы.

Таким образом, первая конструкция лучше подходит для интенсивной циркуляции жидкости, работы с суспензиями и тяжёлыми средами, где основная задача заключается в перемешивании объёма. Вторая конструкция ориентирована преимущественно на диспергирование газа и усиление массообмена, поэтому она эффективнее в процессах аэрации и растворения газов. С инженерной точки зрения первая схема является более «гидродинамической», а вторая — более «массообменной». Во многих современных аппаратах используются комбинированные решения, в которых циркуляционная схема эрлифта сочетается с распределённой подачей газа через перфорированные элементы. [3, 4]

Целью для дальней исследований является моделирование и получение экспериментальных данных по каждой из моделей и разработка иных конструктивных решений.

Перечень ссылок

1. Папаяни Ф.А. Энциклопедия эрлифтов / Папаяни Ф.А., Козыряцкий Л.Н., Кононенко А.П. Москва-Донецк, 2017. – 788 с.:
2. Кононенко А. П./ Особенности очистки шахтных водосборных емкостей малопогружными эрлифтными установками/ Кононенко А. П., Малеев В. Б., Леженин А. И. Горная энергомеханика и автоматика: сб. материалов XXIV Всерос. науч.-техн. конф., г. Донецк, 29-31 окт. 2024г. – Донецк: ДонНТУ, 2024 – с. 33–44.
3. Кононенко А.П. Рабочий процесс эрлифта и его моделирование. / Кононенко А.П. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2010 – 171 с.:
4. Специальные средства водоотлива и гидромеханизированной очистки шахтных водосборных емкостей: Учеб. пособие. – Донецк: ДПИ, 1986, - 36 с. ил.
10. библиография.: 26 назв.

УДК 624.074.4:624.042.12

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ВОЗДУХООБМЕНА В ПЛОСКОСТИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ
ОТВЕРСТИЙ БЕСКАРКАСНЫХ СВОДЧАТЫХ ПОКРЫТИЙ**

В.А. Мазур, М.А. Черненко, Т.Н. Куценко
«ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ» – ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Макеевка, ДНР

***Аннотация** Статья посвящена исследованию аэродинамических параметров в плоскости вентиляционных отверстий бескаркасных сводчатых покрытий с вентилируемой воздушной прослойкой. Численное моделирование позволяет оценить аэродинамическую характеристику покрытий при переходе от максимальных скоростей ветра к средним климатическим значениям наиболее холодного месяца. Для всех моделей доказываемое формирование устойчивой схемы двустороннего притока.*

***Annotation** The paper is devoted to the study of aerodynamic parameters in the plane of ventilation openings of frameless vaulted coverings with a ventilated air gap. Numerical simulation allows evaluating the aerodynamic characteristics of the coverings during the transition from maximum wind speeds to the average climatic values of the coldest month. The formation of a stable double-sided inflow pattern is proven for all models.*

***Ключевые слова:** бескаркасные сводчатые покрытия, вентилируемая прослойка, аэродинамический коэффициент, CFD-моделирование.*

***Keywords:** frameless vaulted roofs, ventilated air gap, pressure coefficient, Computational Fluid Dynamics.*

Конденсация влаги является одной из основных причин возникновения дефектов в ограждающих конструкциях зданий и сооружений. Накопление влаги нарушает температурно-влажностный режим, снижает расчетное сопротивление, способствует деградации несущих конструкций, что приводит к увеличению затрат на отопление и сокращению срока эксплуатации объекта. Для решения отвода

конденсационной влаги предлагается конструктивное решение бескаркасного утепленного сводчатого покрытия, выполняемое двойной аркой из стальных тонкостенных холодногнутых профилей, работающих независимо друг от друга и формирующих вентилируемую воздушную прослойку [1]. Существующие исследования в области ограждающих конструкций с вентилируемой прослойкой ограничены прямолинейными поверхностями, в то время как специфика аэродинамики криволинейных прослоек, в частности, в сводчатых покрытиях, остается практически не изученной.

Особого внимания требует методика определения скорости воздушного потока в прослойке, регламентируемая СП 345.1325800, базирующаяся на аэродинамических коэффициентах для сплошных покрытий согласно СП 20.13330. Так как расчет воздухообмена в воздушной прослойке проводится для средних климатических параметров наиболее холодного месяца (средняя скорость ветра для II ветрового района составляет 4,8–5,0 м/с), использование «пиковых» коэффициентов для оценки влажностного режима ограждающей конструкции физически недостаточно обоснованно. Это обусловливается тем, что схема обтекания свода и формирования зон отрыва потока, в частности направление вектора воздухообмена, при малых скоростях может существенно отличаться.

Цель исследования – установить закономерности формирования воздушного потока в вентилируемой прослойке сводчатого покрытия для определения фактических аэродинамических коэффициентов и векторов воздухообмена.

Задачи исследования:

- определить значения аэродинамических коэффициентов в плоскости вентиляционных отверстий при скорости ветра, соответствующей средним климатическим значениям наиболее холодного месяца ($v=5$ м/с);
- установить направление вектора воздухообмена в системе вентиляционных отверстий (расположенных в опорных зонах и в вершине покрытия) для выявления зон входа и выхода воздушного потока.

Численное исследование выполняется методом CFD – моделирования в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation (метод конечных объемов) с применением замкнутой двухпараметрической модели турбулентности $k-\omega$ (SST).

Граничные условия на входе определяются: профилем скорости, описывающийся степенным законом, согласно СП 20.13330 для типа местности В коэффициент шероховатости составляет $\alpha=0,2$. Параметры

турбулентности определяются: интенсивностью при коэффициенте лобового сопротивления $k_0=0,01$ и постоянным масштабом $L=1200$ м по спектру Давенпорта [2]. Моделирование проводится для двухскоростных режима: $v=24$ м/с и $v=5$ м/с (соответствующей средним скоростям ветра в январе месяце для II ветрового района). Направление ветра перпендикулярно образующей покрытия.

В среде SolidWorks создано 8 моделей пролётом $L=10$ м в масштабе 1:1. Стрела подъема арки принята в соответствии предъявляемым требованиям к бескаркасным сводчатым покрытиям [3]: $0,3L \leq f \leq 0,5L$. Параметры вентилируемой воздушной прослойки (толщина и площадь вентиляционных отверстий) приняты согласно СП 522.1325800 и СП 17.13330 и составляют: толщина прослойки $t_{np}=20$ мм и $t_{np}=200$ мм; суммарная площадь вентиляционных отверстий на 1 м.п. покрытия $S_{отв}=150$ см² и $S_{отв}=250$ см².

Суммарная площадь вентиляционных отверстий рассматривается в рамках двух расчетных схем распределения:

- схема 1 ($S_{отв}=150$ см²): включает три отверстия площадью по 50 см² каждое, расположенные в наветренной опорной зоне (активная зона давления), вершине (зона максимального разряжения) и подветренной опорной зоне (зона аэродинамической тени) покрытия (50-50-50 см²);

- схема 2 ($S_{отв}=250$ см²): предполагает распределение площади в соотношении 100-50-100 см² для наветренной опорной, вершины и подветренной опорной зоне соответственно.

С учетом двух расчетных скоростей ($v=24$ м/с и $v=5$ м/с) матрица планирования эксперимента состоит из 16 расчетных ситуаций.

Габариты расчетного домена определяются из условия минимизации влияния границ на структуру обтекания: расстояние до входной и боковых граней составляет не менее $5H$ (H – высота покрытия), до выходной – $15H$, что необходимо для корректного формирования аэродинамического следа. Дискретизация выполняется на базе адаптивной декартовой сетки с двухэтапным локальным измельчением в зонах высоких градиентов параметров потока. Для вентилируемой прослойки толщиной 20 мм шаг сетки принимается равным 4мм, для прослойки 200 мм – 40 мм. Для исключения эффекта численной блокировки вентиляционных отверстий шаг дискретизации в их плоскости ограничивается значением 10 мм [4,5].

Основным исследуемым параметром является аэродинамический коэффициент и скорость воздушного потока (вектор) в плоскости отверстий.

Для минимизации краевых эффектов, значения избыточного (относительного) давления P_i определяются методом интегрального

усреднения по площади сечения отверстия. Для исключения влияния торцевых аэродинамических эффектов (завихрений), расчет ведется по группе из четырех центральных отверстий, расположенных в зоне установившегося потока.

Для подтверждения достоверности численного моделирования в ПК SolidWorks Flow Simulation проводится расчет ветрового воздействия на сплошное сводчатое покрытие со следующими параметрами: пролет $L=10$ м, стрела подъема арки $f=3$ м; высота опорной части $h=1$ м. Сопоставление средних значений коэффициентов C_{ei} выполняется для нормативных зонам I, II и III согласно СП 20.13330 (рис. 1).

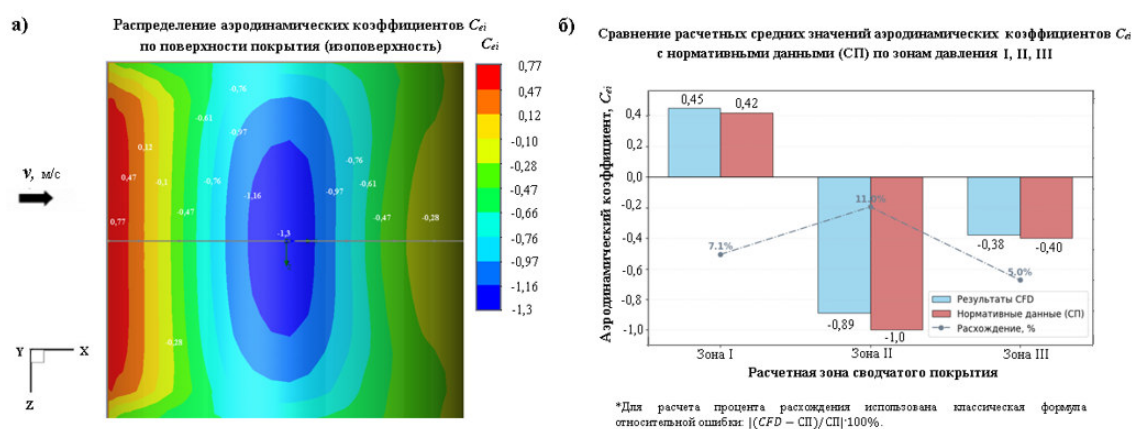


Рисунок 1 – Верификация численной модели

Визуализация изоповерхностей (рис. 1, а) демонстрирует адекватную физическую картину: формирование зоны торможения на наветренной стороне ($C_{ei}=0,45$) с последующим ускорением потока и развитием зоны разрежения ($C_{ei}=-0,89$) на вершине покрытия, что характерно для отрыва течения на криволинейных поверхностях. В подветренной зоне поток стабилизируется ($C_{ei}=-0,38$). Отклонение расчетных данных от нормативных в наиболее нагруженной зоне II не превышает 11,0%, что подтверждает достоверность выбранной численной модели и граничных условий.

На основе численных исследований расчетных моделей определены значения локальных аэродинамических коэффициентов C_{ei} и скорость в плоскости вентиляционных отверстий (таб. 1).

Таблица 1- Результаты численного моделирования

параметры модели					№ рас. модели	Расположение вентиляционных отверстий относительно набегающего потока ветра							
Пролет покрытия L , м	Соотношение сторон поля a к пролету H/L	Стрела поля a , м	Толщина вентиляруемой воздушной прослойки $h_{вп}$, мм	Площадь вент. отверстий на 1 м^2 , см ²		Исследуемые параметры в плоскости отверстия							
						Наветренная сторона			Вершина		Подветренная сторона		
						Давление P , Па	Аэродинамический коэффициент C_d	Скорость v , м/с	Давление P , Па	Аэродинамический коэффициент C_d	Давление P , Па	Аэродинамический коэффициент C_d	Скорость v , м/с
						$v=24 \text{ м/с}$							
10	0,3	3	20	СП		0,42			-1,0		-0,4		
				Без отв.		0,68	0		-1,30		-0,19	0	
			150	1	65,48	0,58	7,78 (Ох: 6,14)	- 209,5	- 0,91	- 36,27	3,91 (Ох: - 2,07)		
			250	2	53,44	0,47	5,28 (Ох: 2,89)	- 208,13	- 0,90	- 49,88	- 0,44	2,39 (Ох: - 0,57)	
		200	150	3	85,47	0,76	8,19 (Ох: 6,71)	- 191,93	- 0,83	- 67,44	- 0,60	3,9 (Ох: - 1,18)	
			250	4	- 46,31	- 0,41	7,30 (Ох: 6,41)	- 162,24	- 0,70	- 53,75	- 0,48	3,65 (Ох: - 1,03)	
		5	20	СП		0,8			-1,2		-0,4		
				Без отв.		0,86	0	-1,59		-0,26	0		
	150		5	82,11	0,73	6,5 (Ох: 4,7)	- 261,92	- 0,95	- 41,78	- 0,37	3,77 (Ох: - 2,35)		
	250		6	124,53	1,10	5,27 (Ох: 3,13)	- 286,31	- 1,04	- 55,81	- 0,49	3,54 (Ох: - 0,69)		
	200	150	7	53,92	0,48	11,72 (Ох: 9,08)	- 170,14	- 0,62	- 47,52	- 0,42	5,28 (Ох: - 4,48)		
		250	8	85,18	0,75	11,14 (Ох: 8,33)	- 137,33	- 0,5	- 40,63	- 0,36	3,83 (Ох: - 2,82)		
	0,3	3	20	$v=5 \text{ м/с}$									
				Без отв.	- 1,90	- 0,39	0	- 58,6	- 5,84	- 8,43	- 1,72	0	
			150	1	- 2,74	- 0,56	1,42 (Ох: 1,34)	- 54,64	- 5,43	- 8,87	- 1,81	1,43 (Ох: - 0,35)	
			250	2	- 3,90	- 0,79	1,36 (Ох: 0,84)	- 54,86	- 5,45	- 8,78	- 1,79	1,43 (Ох: - 0,33)	
		200	150	3	- 1,94	- 0,39	1,73 (Ох: 1,64)	- 58,67	- 5,86	- 8,56	- 1,74	0,91 (Ох: - 0,19)	
			250	4	- 8,1	- 1,65	1,81 (Ох: 1,65)	- 52,85	- 5,25	- 8,93	- 1,82	1,33 (Ох: - 0,25)	
		5	20	Без отв.	- 1,41	- 0,29	0	- 90,3	- 7,54	- 7,39	- 1,5	0	
				150	5	- 3,4	- 0,69	1,23 (Ох: 1,05)	- 83,99	- 7,01	- 8,23	- 1,67	1,12 (Ох: - 0,57)
	250		6	- 3,26	- 0,66	1,03 (Ох: 0,79)	- 83,33	- 6,96	- 8,27	- 1,68	0,40 (Ох: - 0,02)		
	200		150	7	- 6,00	- 1,22	2,50 (Ох: 2,22)	- 80,89	- 6,75	- 9,20	- 1,87	1,91 (Ох: - 1,51)	
		250	8	- 4,44	- 0,90	2,16 (Ох: 1,83)	- 79,51	- 6,64	- 8,45	- 1,72	1,54 (Ох: - 1,02)		

Анализ полученных данных показал, что для расчетной модели №1 аэродинамический коэффициент C_{el} меняет значение с 0,58 на -0,56. Установлено, что данная смена знака не приводит к изменению вектора воздухообмена ($Ox > 0$), указывая на непрерывный вход наружного воздуха в вентиляционное отверстие. При этом абсолютная скорость потока на входе наветренной стороны снижается во всех исследуемых моделях от 3,88 до 5,48 раз.

На вершине покрытия при переходе от максимальных скоростей ветра к средним ($v=5 \text{ м/с}$) зафиксировано увеличение относительного разряжения в плоскости выходного отверстия, аэродинамический коэффициент принимает значения от -5,25 до -7,01. Данные значения по модулю в 6,0 – 13,3 раз больше, чем аналогичные коэффициенты при скорости 24 м/с.

На подветренной стороне покрытия при $v=5 \text{ м/с}$ аэродинамический коэффициент принимает значения от -1,67 до -1,87. Данные показатели по модулю в 2,9–5,7 раз больше, чем аналогичные коэффициенты при скорости 24 м/с. Однако скорость в плоскости отверстия существенно уменьшается во всех исследуемых моделях в 1,67–8,85 раз (например, для модели №1 – с 3,91 м/с до 1,43 м/с; для модели №6 – с 3,54 м/с до 0,40 м/с), при этом отрицательный знак проекции ($Ox < 0$) подтверждает сохранение непрерывной приточной функции отверстия.

Наиболее неблагоприятной скоростью для расчета ограждающей конструкции на влагоудаление является средняя скорость наиболее холодного месяца ($v=5$ м/с), при которой скорость в плоскости отверстия снижается до 0,4 – 1,91 м/с (для подветренной стороны) и 1,03 – 2,50 м/с (с наветренной стороны), что снижает интенсивность воздухообмена, создает риски локального застоя и локализации конденсата.

На основании полученных значений исследуемых параметров установлены следующие выводы:

1. Качественное изменение характера аэродинамического воздействия при переходе от максимальных скоростей ветра $v=24$ м/с к средним климатическим значениям наиболее холодного месяца $v=5$ м/с: на наветренной стороне вызывает смену активного давления на разрежение.
2. Для всех исследуемых моделей при скоростях ветра $v=5$ м/с и $v=24$ м/с подтверждено формирование устойчивой схемы двустороннего притока. Наружный воздух поступает в прослойку через отверстия, расположенные с наветренной и подветренной стороны, а выходит через отверстие в вершине покрытия.

Перечень ссылок

1. Мазур, В. А. Оценка влияния устройства вентиляционных отверстий в арочном профиле на прочность бескаркасного утепленного сводчатого покрытия / В. А. Мазур, М. А. Чайка, Е. И. Новицкая // Металлические конструкции. – 2025. – Т. 31, № 1. – С. 23-33.
2. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра [Текст] / ЦНИИ строит. конструкций им. В. А. Кучеренко. – Москва : Стройиздат, 1978. – 216 с.
3. Липленко, М. А. Несущая способность бескаркасных арочных покрытий из стальных холодногнутых профилей с поперечно-гофрированными гранями : дис. ...канд. тех. наук: 05.23.01 / Максим Александрович Липленко. – Москва, 2017 – 214с.
4. Comparison of various k_e models and DSM applied to flow around a highrise building / A. Mochida, Y. Tominaga, S. Murakami [et al.]. – Текст : непосредственный // Wind and Structures. – 2002. – 5(24). – P. 227–244.
5. Cross comparisons of CFD results of wind environment at pedestrian level around a highrise building and within a building complex / Y. Tominaga, A. Mochida, T. Shirasawa [et al.]. – Текст : непосредственный // Journal of Asian architecture and building engineering. – 2004. – Volume 3(1). – P. 63–70.

УДК [622.82:622.411.3]:[62-543.27.05]-519

**ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ДИСТАНЦИОННОГО
КОНТРОЛЯ ГАЗОВОЙ ОБСТАНОВКИ В ГОРНЫХ
ВЫРАБОТКАХ АВАРИЙНЫХ ПОЖАРНЫХ УЧАСТКОВ ШАХТ
ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

И.И. Москвина¹, А.В. Агарков^{1,2}, Д.В. Руденко², Я.В. Борисов¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Предложены эффективные способы дистанционного контроля газовой обстановки в горных выработках аварийных пожарных участков шахт, которые могут быть использованы при ведении горноспасательных работ.

Annotation (Abstract). Effective methods for remote monitoring of the gas situation in mine workings of emergency fire areas of mines have been proposed, which can be used in mine rescue operations.

Ключевые слова: угольная шахта; подземный пожар; дистанционный контроль газовой обстановки; отбор и анализ проб воздуха (газов).

Keywords: coal mine; underground fire; remote monitoring of gas conditions; air (gas) sampling and analysis.

Горнодобывающая промышленность – одна из важнейших отраслей российской экономики. Однако подземные пожары остаются самым массовым типом аварий, борьба с которыми часто сопряжена с риском взрыва газовоздушной смеси и другими опасностями для горноспасателей. В этой ситуации получение достоверной информации о составе среды в аварийной зоне посредством дистанционного отбора и последующего анализа проб воздуха (газов) на всех этапах ликвидации чрезвычайной ситуации – одно из ключевых условий безопасного ведения спасательных работ [1].

В настоящее время подразделения горноспасательной службы МЧС России применяют дистанционный метод контроля газовой среды в шахтах, который базируется на непрерывном прокачивании газовоздушной смеси через гибкий пробоотборный трубопровод за счет разрежения от побудителя расхода, а также на отборе и анализе проб пожарных газов в газоаналитической лаборатории.

Последняя в период ликвидации аварии размещается в здании административно-бытового комплекса шахты.

Результаты анализа проб воздуха, включающие данные о содержании метана, оксида и диоксида углерода, водорода, кислорода и других газов [2, 3], служат основой для оценки характера динамики пожара и степени его развития.

Недостатком этого способа является недостоверность газового контроля на аварийных участках. Известны примеры, когда взрывы газоздушных смесей происходили при результатах анализа, не показывавших взрывоопасную концентрацию, и наоборот – по данным дистанционного контроля фиксировалась взрывоопасная ситуация, но взрыва не случалось, что отрицательно сказывалось на оперативности ведения работ [1].

Следовательно, повышение эффективности дистанционного контроля газовой среды в шахтах при авариях путем совершенствования способов и технических средств дистанционного отбора и анализа проб является актуальным научным направлением, имеющим важное прикладное значение.

Рассмотрим способ дистанционного контроля газовой обстановки по сечению загазованной горной выработки, представленный на рис. 1.

Согласно рис. 1, в месте контроля газовой обстановки следует установить многоточечный пробоотборник, соединить его с пробоотборным трубопроводом. Проложить трубопровод по выработкам до места монтажа побудителя расхода. Между бухтами пробоотборного трубопровода, при необходимости, следует устанавливать фильтры-влагоотделители, прикрепляя их к элементам крепи выработок при помощи мягкой проволоки.

После проверки на герметичность, один конец пробоотборного трубопровода необходимо подсоединить к побудителю расхода, предварительно установив фильтр-осушитель, а из второго конца извлечь пробку резиновую конусную и соединить трубопровод с многоточечным пробоотборником. Подсоединить побудитель расхода к источнику питания.

Далее следует смонтировать приспособление для экспресс-анализа проб воздуха или их набора в специальные емкости, выполнить продувку пробоотборного трубопровода, экспресс-анализ проб шахтного воздуха и (или) их набор в специальные емкости. Демонтаж системы необходимо осуществлять в обратном порядке.

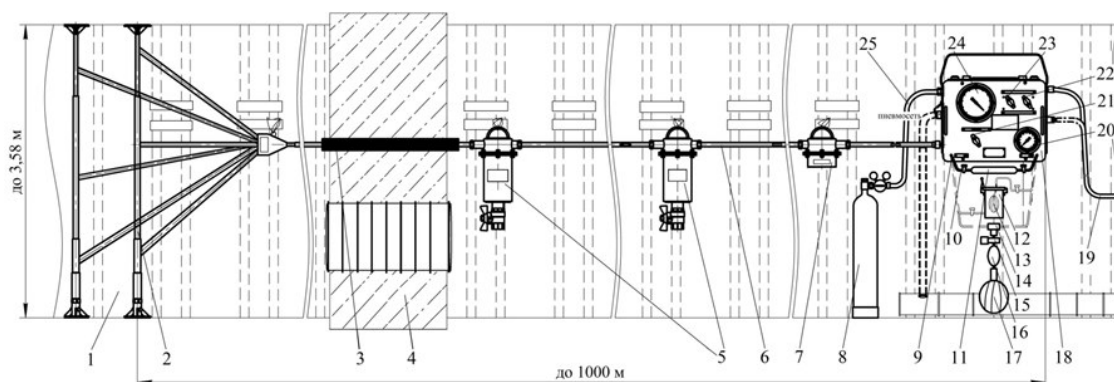


Рис. 1. Способ дистанционного контроля газовой обстановки по сечению загазованной горной выработки:

1 – изолированное пространство аварийного участка или горной выработки; 2 – многоточечный пробоотборник; 3 – металлическая труба, монтируемая в изолирующее сооружение при его возведении; 4 – изолирующее сооружение; 5 – фильтры-влагоотделители (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 в камеру; 13, 17 – камеры для отбора проб; 14 – Т-образный соединительный тройник; 15 – кран шаровый; 16 – ручной вакуумный насос; 18 – установка эжекторная УЭ-1М в качестве побудителя расхода; 19 – отводной шланг для сброса воздуха в окружающую среду; 20 – манометр; 21, 22, 23 – краны выбора режимов работы и питания; 24 – вакуумметр; 25 – трубопровод соединительный

Рассмотрим способ оценки максимальных концентраций газов по высоте горной выработки, который может быть использован при ликвидации сложных пожаров, при тушении их инертными газами, при ликвидации последствий выбросов угля, породы и газа, и других аварий, в случаях, когда необходимо осуществлять контроль определенных газов. Соответственно, в случае необходимости оценки максимальных концентраций определенных газов в заданной точке аварийной горной выработки, например, только метана, водорода или оксида углерода, при монтаже оборудования для дистанционного отбора проб следует подвесить конец пробоотборного трубопровода у кровли выработки к элементам крепи (без использования многоточечного пробоотборника). Для дистанционного контроля максимальных концентраций диоксида углерода конец пробоотборного трубопровода следует подвесить к элементам крепи у почвы выработки (без использования многоточечного пробоотборника). При наличии

возможности (значительном запасе бухт трубопровода) для оценки максимальных концентраций газов по высоте аварийной горной выработки, в том числе – кислорода и азота, допускается монтаж трех отдельных магистралей пробоотборного трубопровода с выводом их на безопасное расстояние в горную выработку, где установлены побудитель расхода и приспособления для отбора и анализа проб шахтного воздуха. Схема монтажа трех отдельных магистралей пробоотборного трубопровода по высоте горной выработки представлена на рис. 2.

Далее рассмотрим способы дистанционного отбора проб из нескольких выработок или секционного отбора проб по длине одной протяженной горной выработки. В данном случае следует прокладывать несколько пробоотборных трубопроводов и выводить их в одну точку на безопасное расстояние от аварийного участка к месту монтажа (установки) побудителя расхода. При прокладке нескольких пробоотборных трубопроводов, каждый следует маркировать отдельным жетоном. В таких случаях целесообразным является использование побудителей расхода, аналогичных воздушному эжектору ВЭЖ, представленному на рис. 3. Преимуществом таких эжекторов является приемная камера на три магистрали пробоотборных трубопроводов.

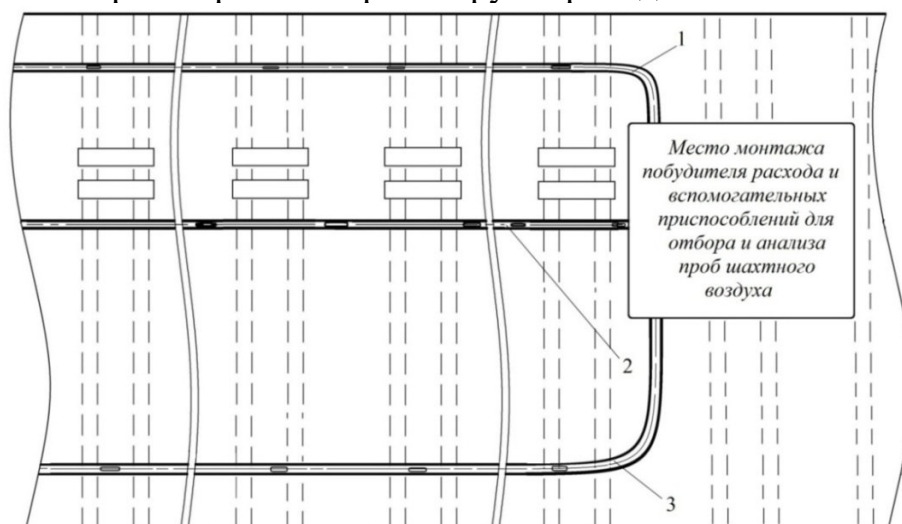


Рис. 2. Схема монтажа трех отдельных магистралей пробоотборного трубопровода по высоте горной выработки:

1 – магистраль пробоотборного трубопровода для оценки максимальных концентраций метана или водорода; 2 – магистраль пробоотборного трубопровода для оценки максимальных концентраций кислорода и азота; 3 – магистраль пробоотборного трубопровода для оценки максимальных концентраций оксида и диоксида углерода

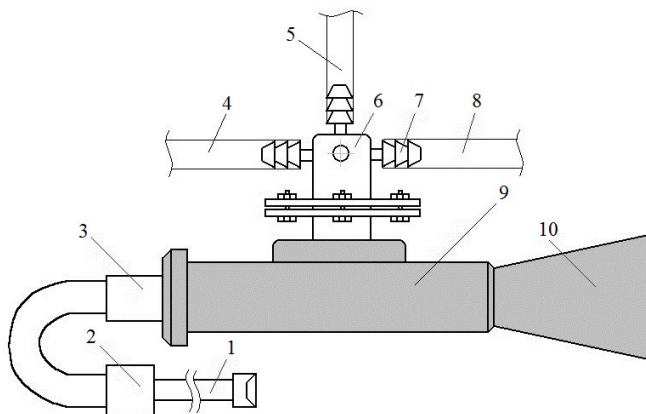


Рис. 3. Воздушный эжектор ВЭЖ (для секционного отбора проб или отбора проб из нескольких выработок):

1 – шланг с гайкой для подсоединения к трубопроводу сжатого воздуха; 2 – фильтр ФВ-10; 3 – штуцер для подсоединения к эжектору фильтра; 4, 5, 8 – прободоотборные трубопроводы; 6 – приемная камера эжектора; 7 – штуцер для подсоединения прободоотборного трубопровода; 9 – корпус эжектора; 10 – диффузор

Для повышения оперативности газовый анализ проб воздуха (газов) следует осуществлять экспресс-методом непосредственно в шахте (на безопасном расстоянии от аварийного участка), применяя переносные многоканальные газоанализаторы со специальными пробозаборными насадками и адаптерами (для перевода режима работы прибора из диффузионного в режим принудительной подачи пробы) [4]. Это позволяет сократить время газового анализа отобранных проб до нескольких (2–3) минут (в сравнении с газовым анализом отобранных проб на поверхности шахты, для осуществления последнего уходит до нескольких часов).

После газового анализа отобранных проб, с целью оперативного расчета треугольника взрываемости смеси горючих газов, необходимо использовать специализированное программное обеспечение [5] – программные системы и комплексы, которые позволяют рассчитывать координаты треугольника взрываемости и точки газовой смеси. Результаты решения представляются графически. Изображение сопровождаются текстовые сообщения с описанием газовой ситуации на участке и перечнем возможных мероприятий для ее изменения. Для дальнейшей оценки корректируется исходная информация и с новыми данными повторяется расчет.

Таким образом, предложены способы дистанционного контроля газовой обстановки в горных выработках аварийных участков угольных шахт, которые могут быть использованы при оперативном ведении горноспасательных работ по ликвидации пожаров.

Перечень ссылок

1. 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.
2. Ушаков, К. З. Газовая динамика шахт / К. З. Ушаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 481 с.
3. Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых : утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.12.2020 № 505. – Москва : Ростехнадзор, 2020. – 286 с.
4. Агарков, А. В. Приборы газового анализа проб шахтного воздуха, отобранных непосредственным или дистанционным способами при ликвидации пожаров и ведении горноспасательных работ / А. В. Агарков // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования : науч. журн. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2021. – № 2 (9). – С. 20-29.
5. Мавроди, А. В. Программное обеспечение горноспасательных работ / А. В. Мавроди, В. В. Захлебн // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : науч.-техн. журн. – Донецк : НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР, 2020. – № 1 (57). – С. 86-94.

УДК 622.822:[622.413.3+622.41]:536.24

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНОЙ
ВЫРАБОТКЕ – ШТОЛЬНЕ ПРИ ЭКЗОГЕННОМ ПОЖАРЕ**

И.И. Москвина¹, А.В. Агарков^{1,2}, В.Н. Радионенко³, Д.Д. Вережак³,

М.Г. Шадрина¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

³ ДОННАСА – филиал НИУ МГСУ,

г. Макеевка, ДНР

Аннотация. Установлены зависимости скорости распространения пожарных газов при нестационарных и стационарных тепломассообменных процессах в горной выработке – штольне, отличающиеся от известных учетом ее геометрических размеров (геометрии), условий (режимов) проветривания, а также коэффициентов тепло- и массопереноса при подземном пожаре экзогенного происхождения.

Annotation (Abstract). The article establishes the dependence of the rate of propagation of fire gases on non-stationary and stationary heat and mass transfer processes in a mine workings – a tunnel, which differs from the known ones by taking into account its geometric dimensions (geometry), ventilation conditions (modes), and heat and mass transfer coefficients in an underground fire of exogenous origin.

Ключевые слова: горная выработка; штольня; подземный пожар; процесс тепломассопереноса; эмпирические исследования.

Keywords: mining; tunnel; underground fire; heat and mass transfer process; empirical research.

Ликвидация пожаров сопряжена с высокой вероятностью взрыва газовоздушной смеси и возникновением других опасных условий. Соответственно, получение достоверных данных о составе шахтной среды на аварийных участках угольных шахт путем прогнозирования и оценки газовой обстановки (температуры и концентраций газов) в горных выработках в течение всего периода ликвидации аварии – одно из главных условий безопасного и эффективного ведения горноспасательных работ.

Анализ проведенных исследований [1, 2] позволил установить, что предлагаемые авторами методы прогнозирования газовой обстановки

при пожарах в шахтах не позволяют достоверно осуществлять оценку динамики температуры и концентраций пожарных газов (оценку температурного поля и поля концентраций пожарных газов) с учетом геометрических размеров (геометрии) горных выработок, условий (режимов) их проветривания, коэффициентов тепломассопереноса, наличия источников газо- и тепловыделения в условиях пожара и других параметров. Отсутствуют зависимости скорости распространения пожарных газов (концентраций газов и температуры) для стационарных и нестационарных процессов тепломассообмена в горных выработках аварийных участков угольных шахт.

В работе [3] было выполнено моделирование процессов тепломассопереноса в проветриваемой и непроветриваемой горных выработках с источниками газовой выделения при пожарах. В ходе теоретических исследований была разработана математическая модель тепломассообменных процессов в аварийных участках угольных шахт при пожарах с учетом геометрических размеров (геометрии) горных выработок, условий (режимов) их проветривания, коэффициентов тепло- и массопереноса, которая позволяет определять динамику пожарных газов вдоль выработок.

Соответственно, актуальная научно-техническая задача, имеющая важное практическое значение, заключается в проведении эмпирических исследований процессов тепломассопереноса в горной выработке при пожаре путем определения степени (оценки) достоверности результатов математического моделирования переноса тепла и газов в горной выработке при пожаре [3] при их сравнении с данными исследований динамики развития подземных пожаров в натурных условиях – штольне ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» [4, 5].

На рис. 1 представлены зависимости температуры воздуха от времени и расстояния от очага пожара.

Предполагается, что очаг пожара находится в начале координат, температура в очаге составляет 1000 °С, длина выработки 150 м, скорость вентиляционной струи 0,6 м/с. Сравнение позволило установить, что полученные расчетным методом результаты аналогичны экспериментальным данным распределения температуры пожарных газов по длине штольни. Следовательно, представляется возможным определять скорость изменения температуры пожарных газов в выработке на определенном расстоянии от очага пожара.

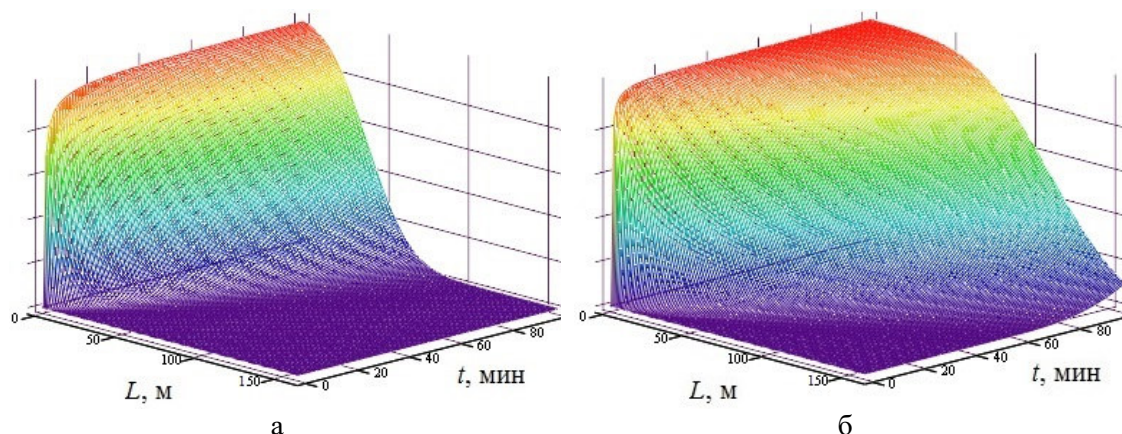


Рис. 1. Зависимости температуры воздуха от времени и расстояния от очага пожара:

а – через 1 ч с момента возгорания; б – через 3 ч

В работе [3] представлены зависимости концентраций метана и оксида углерода от времени и расстояния от очага пожара, а именно: экспериментальные данные и теоретические (результаты расчетов). Соответственно, актуальным является установление зависимостей концентраций водорода, диоксида углерода и кислорода от времени и расстояния от очага пожара. Поэтому на рис. 2 – 4 графически представлены экспериментальные результаты измерений концентраций газов (водорода, диоксида углерода и кислорода) во времени на различных расстояниях по длине выработки от очага пожара и расчетные кривые. Расчет выполнен по формуле (1) [3].

Установлено, что для повышения концентраций пожарных газов с момента их появления из источника газовой выделения в выработке до максимальных значений в целом достаточно 1 ч. Для заполнения пожарными газами выработки, длиной 150 м, достаточно 3 ч.

Скорость распространения пожарных газов зависит (в основном) от режима проветривания, и в небольшой (меньшей) степени – от коэффициентов диффузии отдельных газов. Заметное влияние коэффициентов диффузии сказывается на начальном этапе повышения концентраций газов в определенном месте выработки, то есть – на границе фронта продвижения газов.

Результаты экспериментов позволяют наглядно проиллюстрировать ход процесса и выявить закономерности распространения газов по длине штольни.

Сравнение теоретических данных с результатами экспериментов позволило подтвердить достоверность математических моделей переноса тепла и газов [3], и установить, что максимальная относительная погрешность не превышает 15 %.

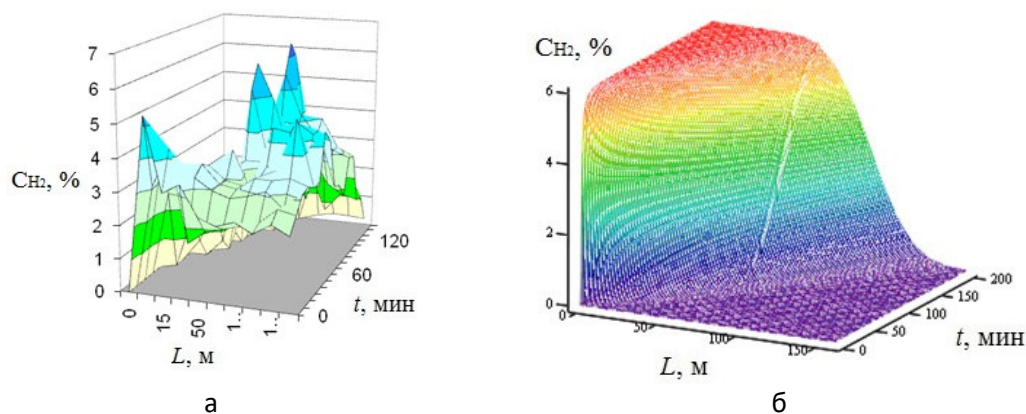


Рис. 2. Зависимость концентраций водорода от времени и расстояния от очага пожара:

а) экспериментальные данные; б) теоретические данные

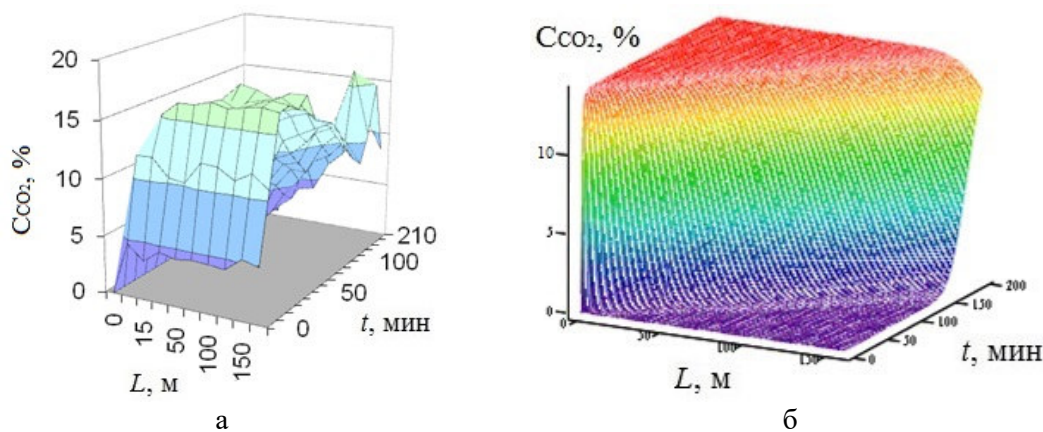


Рис. 3. Зависимость концентраций диоксида углерода от времени и расстояния от очага пожара:

а) экспериментальные данные; б) теоретические данные

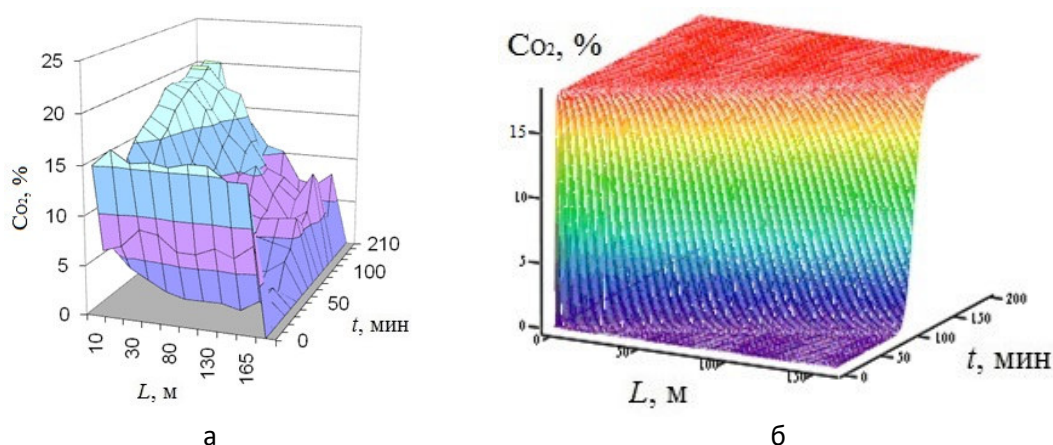


Рис. 4. Зависимость концентраций кислорода от времени и расстояния от очага пожара:

а) экспериментальные данные; б) теоретические данные

Таким образом, установлены зависимости скорости распространения пожарных газов (концентраций газов и температуры) при нестационарных и стационарных процессах тепломассопереноса в горной выработке с учетом ее геометрических размеров (геометрии), условий (режимов) проветривания, а также коэффициентов тепло- и массопереноса при подземном пожаре экзогенного происхождения.

Перечень ссылок

1. Ушаков, К. З. Газовая динамика шахт / К. З. Ушаков. – М. : Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 481 с.
2. Пашковский, П. С. Единый подход к решению задач теплогазообмена при пожарах на различных объектах / П. С. Пашковский, С. П. Греков, И. Н. Зинченко // *Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza*. – 2016. – Т. 44, № 4. – С. 83–88.
3. Тепломассообменные процессы в горных выработках аварийных участков угольных шахт при пожарах / А. В. Агарков, В. Л. Ефименко, А. Л. Кавера, Д. С. Евтеев // *Научный вестник НИИ «Респиратор»: науч.-техн. журн.* – Донецк : ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России», 2026. – № 1 (63). – С. 27–37.
4. Пашковский, П. С. Проветривание шахт при подземных пожарах / П. С. Пашковский, В. И. Лебедев. – Донецк : ЧП «Арпи», 2012. – 448 с.
5. 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*. – 2021. – № 2 (26). – С. 74–83.

УДК 622.867.1:614.842.862

ОПТИМИЗАЦИЯ ШТАТНОЙ ЧИСЛЕННОСТИ РАБОТНИКОВ ВОЕНИЗИРОВАННОЙ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

И.И. Москвина¹, А.В. Агарков^{1,2}, А.А. Всякий², О.В. Чернышева¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Предложена методика расчета оптимальной штатной численности оперативной и оперативно-медицинской служб военизированной горноспасательной части Донецкой Народной Республики, которая может стать основой нового нормативного правового акта кадровой службы ФГКУ «ВГСЧ ДНР».

Annotation. A methodology has been proposed for calculating the optimal staffing of the operational and operational-medical services of the paramilitary mine rescue unit of the Donetsk People's Republic, which can serve as the basis for a new regulatory legal act for the personnel service of the FGKU "VGSCCH DPR".

Ключевые слова: горноспасательная служба; оптимальная штатная численность; оперативная и оперативно-медицинская службы; методика расчета.

Keywords: mine-rescue service; optimum manpower number; operational and operational-medical service; methodology for calculating.

При пересмотре структуры военизированной горноспасательной части Донецкой Народной Республики (далее – ДНР) с целью приведения штатной численности к оптимальным значениям для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на горных предприятиях актуальность приобретает разработка методики расчета численности работников оперативной и оперативно-медицинской служб.

В ходе анализа нормативных правовых актов Российской Федерации, регламентирующих порядок определения необходимого количества горноспасательных подразделений для обслуживания промышленных объектов [1; 2], было установлено, что:

– критерии дислокации взводов горноспасательной службы Российской Федерации существенно отличаются от условий дислокации горноспасательных подразделений ДНР;

– расчет количества отделений выполняют с учетом аварийности на обслуживаемых объектах за последние 10 лет, среднегодовой нагрузки на отделение по объему выполнения работ, а также удаленности объектов от подразделений соседних отрядов.

В связи с неравномерным распределением нагрузки на горноспасательные подразделения, одним из решений для условий ДНР может стать разделение ее территории на агломерации [3].

Цель настоящего исследования – разработка методики расчета штатной численности оперативной и оперативно-медицинской служб.

Определение штатной (списочной) численности работников горноспасательных подразделений, которая позволяет круглосуточно, эффективно и качественно выполнять конкретную работу с условием обеспечения режимов труда и отдыха, необходимо осуществлять по каждой должности и профессии отдельно, исходя из явочной численности работников с учетом коэффициента списочного состава:

$$Ч_{ш} = Ч_{я} \cdot K_{сп}, \quad (1)$$

где $Ч_{ш}$ – штатная (списочная) численность работников, чел.;

$Ч_{я}$ – явочная численность работников, чел.;

$K_{сп}$ – коэффициент списочного состава.

Определение явочной численности работников при организации круглосуточного дежурства предлагаем рассчитывать по формуле

$$Ч_{я} = \frac{H_{ф} \cdot C}{H_{р}} Ч_{с}, \quad (2)$$

где $H_{ф}$ – номинальный фонд рабочего времени (при круглосуточном дежурстве равен количеству календарных дней в году), дн.;

C – количество часов в сутки, 24 ч;

$H_{р}$ – норма продолжительности рабочего времени на год в часах при 40-часовой рабочей неделе, ч;

$Ч_{с}$ – количество работников в одну смену, чел.

Коэффициент списочного состава $K_{сп}$ следует определять как

$$K_{сп} = \frac{\Phi_{н}}{\Phi_{р}}, \quad (3)$$

где $\Phi_{н}$ – номинальный фонд рабочего времени, равный количеству рабочих дней в году, дн.;

$\Phi_{р}$ – планируемое количество рабочих дней для отдельной

должности, которое определяют количеством рабочих дней в году, дн.

Расчет количества отделений при обслуживании одной агломерации следует выполнять для первоначального момента ликвидации аварии в соответствии с планами мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на обслуживаемых объектах (продолжительностью до 6 ч). При этом среднее количество отделений на один обслуживаемый объект в пределах одной агломерации предлагаем рассчитывать по формуле

$$N_{\text{ср.отд}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{K_{\text{объект}}}, \quad (4)$$

где $N_{\text{ср.отд}}$ – среднее количество отделений на один обслуживаемый объект в пределах одной агломерации, ед.;

N_i – количество отделений при вызове на аварию в первоначальный момент, которое зависит от группы опасности обслуживаемых объектов, ед.;

$K_{\text{объект}}$ – суммарное количество обслуживаемых объектов, которые расположены в пределах одной агломерации, ед.

Общее количество отделений для выполнения аварийно-спасательных работ с учетом круглосуточного дежурства при явочной численности работников необходимо рассчитывать по формуле:

$$N_{\text{деж}} = N_{\text{ср.отд}} \cdot N_{\text{смен}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{деж}}$ – общее количество отделений для выполнения аварийно-спасательных работ с учетом круглосуточного дежурства, ед.;

$N_{\text{смен}}$ – количество смен, необходимых для круглосуточного дежурства отделений (следует принимать равным 4-м сменам), ед.

Основное количество отделений для выполнения аварийно-спасательных работ с учетом круглосуточного дежурства при штатной (списочной) численности работников необходимо рассчитывать как

$$N_{\text{шт}} = N_{\text{деж}} \cdot \text{Ч}_{\text{я.от}} \cdot K_{\text{сп}}, \quad (6)$$

где $N_{\text{шт}}$ – штатная численность работников отделений, ед.;

$\text{Ч}_{\text{я.от}}$ – явочная численность работников в одном отделении (один командир отделения и пять респираторщиков), ед.

Количество отделений для выполнения аварийно-спасательных работ на обслуживаемых объектах с учетом круглосуточного

дежурства необходимо рассчитывать следующим образом:

$$N_{\text{осн}} = \frac{N_{\text{шт}}}{\text{Ч}_{\text{шт.от}}}, \quad (7)$$

где $N_{\text{осн}}$ – основное количество отделений для выполнения аварийно-спасательных работ на обслуживаемых объектах, ед.;

$\text{Ч}_{\text{шт.от}}$ – численность работников в одном отделении для выполнения аварийно-спасательных работ (один командир отделения и пять респираторщиков), ед.

На современном этапе немаловажен расчет среднего количества отделений для выполнения дополнительных работ в пределах одной агломерации, который предлагаем осуществлять по формуле

$$N_{\text{доп}} = \frac{N_{\text{сумм}}}{N_{\text{вызов}}} + \left(\frac{\text{Ч}_{\text{др}}}{\text{Ч}_{\text{шт.от}}} / L \right), \quad (8)$$

где $N_{\text{доп}}$ – среднее количество отделений для выполнения дополнительных работ в пределах одной агломерации, ед.;

$N_{\text{сумм}}$ – суммарное количество отделений, задействованных на выполнение дополнительных работ, ед.;

$N_{\text{вызов}}$ – общее количество вызовов на выполнение дополнительных работ, ед.;

$\text{Ч}_{\text{др}}$ – численность работников (водитель автомобиля, заместитель командира отряда, помощник командира отряда, командир взвода, помощник командира взвода), участвующих в выполнении дополнительных работ, ед.;

L – количество лет, ед.

Примечание: значения коэффициентов следует определять согласно учету вызовов за последние 5 лет в пределах агломерации.

Общее количество отделений для выполнения аварийно-спасательных и дополнительных работ, а также для задействования специализированной горноспасательной техники в пределах одной агломерации следует рассчитывать по формуле

$$N_{\text{общ}} = N_{\text{осн}} + N_{\text{доп}} + N_{\text{спец}}, \quad (9)$$

где $N_{\text{общ}}$ – количество отделений для выполнения аварийно-спасательных и дополнительных работ в пределах агломерации, ед.;

$N_{\text{спец}}$ – количество отделений для обслуживания специализированной горноспасательной техники, ед. При наличии

специализированной техники количество отделений равно 1 ед.

Общее количество взводов для обслуживания объектов в пределах одной агломерации следует рассчитывать по формуле

$$N_{\text{взв}} = \frac{N_{\text{общ}}}{N_{\text{отд}}}, \quad (10)$$

где $N_{\text{взв}}$ – общее количество взводов для обслуживания объектов в пределах одной агломерации, ед.;

$N_{\text{отд}}$ – минимальное количество отделений в одном взводе – 6 ед.

Предложенная методика расчета оптимальной штатной численности оперативной и оперативно-медицинской служб ФГКУ «ВГСЧ ДНР» отличается от существующих [1; 2] тем, что учитывает оптимальную численность работников, поддержание постоянной круглосуточной готовности к немедленному выезду необходимого количества отделений и лиц командного состава на обслуживаемые объекты для спасения людей и ликвидации последствий аварий, соблюдение для каждого работника месячной нормы рабочего времени, а также соблюдение в аварийный и межаварийный периоды режимов труда и отдыха.

Перечень ссылок

1. Российская Федерация. Постановления. Об утверждении Положения о профессиональных аварийно-спасательных службах, профессиональных аварийно-спасательных формированиях, выполняющих горноспасательные работы, и Правил расчета стоимости обслуживания объектов ведения горных работ профессиональными аварийно-спасательными службами, профессиональными аварийно-спасательными формированиями, выполняющими горноспасательные работы: Постановление Правительства Российской Федерации от 27.04.2018 № 517 // КонсультантПлюс: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_297183/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/ (дата обращения: 01.05.2026).

2. Российская Федерация. Об утверждении Нормативов организации военизированных горноспасательных частей, находящихся в ведении Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: Приказ МЧС России от 29.11.2012 № 707 // Гарант: сайт. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70231448/> (дата обращения: 01.05.2026).

3. Гвоздева, М.А. Подходы к определению агломерации / М.А. Гвоздева, М.В. Казакова, Е.А. Поспелова // Российское предпринимательство: науч.-практ. журн. – 2016. – Т. 17. – № 24. – С. 3505-3514.

УДК 622.861

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ГЛУБОКИХ ШАХТ

Е.Б. Николаев

ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк

Аннотация. Разработка пластов на глубине свыше километра, является сложной и опасной задачей для горнодобывающих предприятий. На достигнутых глубинах температура воздуха в выработках существенно превышает допустимые нормы, что негативно влияет на условия труда и здоровье горняков. Соответственно, регулирования теплового режима глубоких шахт является весьма важной и актуальной задачей.

Abstract. Mining seams at depths exceeding one kilometer is a complex and dangerous task for mining companies. At these depths, air temperatures in the workings significantly exceed acceptable limits, negatively impacting working conditions and the health of miners. Consequently, regulating the thermal conditions in deep mines is a highly important and pressing issue.

Ключевые слова: шахта, глубина разработки, температура воздуха, тепловой режим, комплексный метод

Key words: mine, development depth, air temperature, thermal regime, integrated method

Глубокие шахты представляют собой сложные инженерные системы, в которых вопрос теплообразования и контроля теплового режима играет ключевую роль для обеспечения безопасных условий труда и эффективной работы горных предприятий.

Для таких шахт сложнейшей проблемой является обеспечение нормальных климатических условий в горных выработках. На глубинах 1000-1300 м температура рудничной атмосферы в очистных и подготовительных тупиковых забоях существенно превышает предельно допустимые значения - возникает вопрос о разработке мероприятий по её снижению.

Избыточное тепло негативно влияет на условия труда, вызывает тепловой стресс у горняков, отрицательно сказываются на заболеваемости и здоровье ускоряет деградацию оборудования и способствует развитию пожароопасных ситуаций. В условиях больших глубин эти проблемы усиливаются из-за увеличения теплового потока

и сложности его отвода. [1].

Тепловой режим горных выработок глубоких шахт формируется под влиянием ряда факторов и процессов, к главным из которых относятся: сжатие вентиляционной струи под давлением столба воздуха в стволах и наклонных выработках, тепло- и массообмен с горным массивом и транспортируемым ископаемым, тепловыделение при работе машин и механизмов, теплоотдача трубопроводов сжатого воздуха, тепло- и влагообмен с шахтной водой и другие менее значимые процессы. Выявлено, что увеличение объема подачи воздуха не позволяет значительно снизить температуру в забое [2].

Изменение тепловых параметров воздуха, вызванное влиянием каждого из факторов, следует рассматривать во взаимосвязи их между собой.

Широкий диапазон горно-геологических и горнотехнических условий отработки запасов угля на шахтах предопределяет применение большого числа технологических схем и параметров разработки пластов. Применяемые на действующих глубоких шахтах технологические схемы по фактору формирования климатических условий в выработках выемочных участков имеют существенные отличия.

Установлено, что степень проявления теплового фактора в выработках выемочных участков глубоких шахт во многом определяется комплексом технологических решений отработки пластов, и прежде всего, системой разработки, схемой и параметрами проветривания, способом управления горным давлением, местом размещения основного участкового электрооборудования, рядом других параметров (длина выемочного поля, длина лавы и др.). [3].

Так в тепловом балансе лав и выемочных участков существенную долю составляют теплопритоки из выработанного пространства.

Оптимизация указанных горнотехнических решений по тепловому фактору в конкретных условиях разработки угольных пластов, обоснование эффективных способов и средств регулирования теплового режима, в том числе и искусственного охлаждения воздуха, возможны только на основе выполнения трудоемких вариантных тепловых расчетов горных выработок.

Однако освоение глубоких горизонтов действующими шахтами сопровождается изменением горно-геологических и гидрогеологических условий: возрастает температура горного массива, наблюдается закономерное изменение физико-механических свойств горных пород, понижаются фильтрационные свойства горного массива, уменьшается водопроницаемость и пористость песчаников и

известняков. [4].

При этом с уменьшением водообильности горных пород наблюдается закономерное снижение роста влагосодержания воздуха при движении его по горным выработкам, что положительно влияет на формирование шахтного климата.

Все эти особенности в значительной мере влияют на формирование тепловых условий в горных выработках что требует разработки современных методов и технологий борьбы с тепловым фактором.

На основании проведенных современных исследований и полученных практических результатов было установлено, что проблема борьбы с высокими температурами воздуха в глубоких шахтах может быть позитивно разрешена только при реализации комплексного подхода в регулировании микроклимата в очистных и подготовительных выработках глубоких горизонтов. [3,5].

Комплексный метод регулирования теплового режима шахт заключается в реализации рациональных по тепловому фактору горнопланировочных решений по вскрытию и подготовке глубоких горизонтов, рациональных по тепловому фактору технологических схем и параметров отработки выемочных полей с обеспечением интенсивного проветривания очистных забоев и применении эффективных средств искусственного охлаждения воздуха.

Так для снижения тепловой нагрузки и поддержания безопасных условий в шахтах используется комплекс мероприятий:

1. Вентиляция — основной способ отвода тепла. Внутренние вентиляционные системы создают поток воздуха, который охлаждает рабочие зоны и удаляет горячий воздух.

2. Использование охлаждающих средств — установка систем охлаждения воздуха, водяных охладителей, а также применение специальных теплообменников.

3. Теплоизоляция — утепление стен и оборудования для предотвращения передачи тепла и снижения тепловых потерь.

4. Оптимизация технологических процессов — минимизация тепловых затрат при выполнении горных работ, использование энергоэффективного оборудования.

5. Контроль и автоматизация — применение систем автоматического мониторинга температуры, влажности и теплового потока для своевременного реагирования на изменения теплового режима.

Решения по нормализации тепловых условий в очистных и подготовительных тупиковых выработках принимаются шахтами на

основании специальных проектов, в основу которых закладываются горнотехнические способы регулирования тепловых условий и средства искусственного охлаждения шахтного воздуха.

Первоочередным шагом улучшения тепловых условий в шахтах является снижение нагрева воздуха, поступающего на проветривание горных выработок глубоких горизонтов за счет применения горнотехнических мероприятий.

На основании количественной оценки факторов, влияющих на формирование тепловлажностных параметров рудничной атмосферы, установлены основные горнотехнические меры по улучшению тепловых условий в выработках действующих глубоких шахт. Наиболее оперативно реализуемыми из них являются следующие:

- увеличение расхода воздуха, подаваемого на проветривание конкретной лавы, без изменения схемы проветривания выемочного участка (до значений с достижением скорости воздуха в лаве не менее 4 м/с);
- увеличение расхода воздуха и снижение температуры воздуха, подаваемого на проветривание конкретного выемочного участка за счет изменения схемы вентиляции всей шахты;
- увеличение расхода и снижение температуры воздуха, подаваемого на проветривание конкретного выемочного участка, за счет подачи свежего воздуха по специально пройденным из-за температурного фактора новым (восстановленным) горным выработкам;
- переход на применение рациональной по тепловому фактору системы разработки пласта и схемы проветривания выемочного участка;
- переход на применение обоснованных с учетом теплового фактора параметров ведения горных работ (длина лавы, максимальная длина выемочных штреков);
- уменьшение влияния на формирование микроклимата лавы от нагрева свежего воздуха от местных источников тепловыделений;
- предупреждение влагонасыщения воздуха в сети воздухоподающих выработок лавы;
- снижение утечек воздуха через выработанное пространство действующей лавы.

В условиях разработки глубоких горизонтов с естественной температурой горного массива 50°C и более неотъемлемой частью реализации комплексного регулирования микроклимата в горных выработках должно являться внедрение технологий теплоизоляции горного массива в выработках, уплотнение около штрековых бутовых полос или оборудование специальных полос для уменьшения утечек

воздуха через выработанное пространство лав. [2,3,5].

На шахтах с глубиной ведения горных работ до 800-900 м. Применение рациональных по тепловому фактору горнотехнических решений (мероприятий) может обеспечить снижение температуры воздуха в рабочих забоях глубоких шахт на 2-3 °С, а в отдельных случаях в зависимости от горнотехнических и горно-геологических условий разработки пластов на 4-6 °С.

На шахтах глубиной 1000 м более, а также на участках с высоким уровнем концентрации ведения добычных и горнопроходческих работ, нормализация температурных условий позитивно разрешается только при комплексном подходе горнотехнических мероприятий и искусственного охлаждения воздуха с применением новых технических средств кондиционирования рудничного воздуха и эффективного шахтного холодильного оборудования

ВЫВОДЫ

Решение проблемы регулирования теплового режима глубоких шахт может быть осуществлено только на основе комплексного горнотехнологического подхода с искусственным охлаждением рудничного воздуха в выработках разрабатываемых горизонтов.

Перечень ссылок

1. Чередниченко, В. А. Влияние тепловых факторов на безопасность шахтных работ. // Безопасность труда в горной промышленности. – 2016, 14(4) – стр. 90-96.
2. Иванов, А. П., & Смирнова, Е. В. Теплообразование и тепловой режим в условиях глубокого горного производства. // Горный информационно-аналитический журнал - 2020., 15(3) – стр. 45-52.
3. Мартынов А.А., Малеев Н.В., Яковенко А.К. Тепловой режим глубоких угольных шахт. Монография /под ред. А.А. Мартынова). - Донецк: изд-во «Ноулидж». - 2014 -443 с.
4. Стукало А.А. Характеристика действующих глубоких угольных шахт по тепловому фактору // Геотехнологий и парвления производством XXI века. Сборник научных трудов 2 международной научно-практической конференции в г.Донецке. - Донецк: ДонНТУ, 2007. - с.112-114.
5. Петров, А. В., & Фролов, Ю. К. Современные технологии борьбы с тепловым фактором в глубоких горных выработках. // Горная промышленность, 2021. - 23(1), - стр. 56-62.

УДК 622.86:622.411.3

ПРОЦЕССЫ МАССОПЕРЕНОСА В ГОРНОЙ ВЫРАБОТКЕ ШАХТЫ ПРИ ПОЖАРЕ ЭКЗОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Е.Б. Николаев¹, А.В. Агарков^{1,2}, В.Л. Ефименко³, А.П. Коробов¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

³ ФГКОУ ВО «Донецкий институт ГПС МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Разработана модель процессов массопереноса в горной выработке шахты, позволяющая получать численным методом достоверные данные о газовой динамике на всем протяжении выработки с источниками газовыделения при пожаре.

Annotation (Abstract). A model of mass transfer processes in a mine workings has been developed, which allows for the numerical acquisition of reliable data on gas dynamics along the entire length of the workings with sources of gas release during a fire.

Ключевые слова: шахта; подземные пожары; горная выработка; подземный экзогенный пожар; массообменные процессы.

Keywords: mine; underground fires; mine workings; underground exogenous fires; mass transfer processes.

Несмотря на ежегодное повышение уровня безопасности труда и промышленной безопасности в угольных шахтах, разработка месторождений практически всегда сопровождается разного рода авариями: подземными пожарами экзогенного и эндогенного происхождения, взрывами газозооушной смеси и угольной пыли, внезапными выбросами угля, породы и газа, обрушениями горных пород, затоплениями горных выработок.

Значительное препятствие на пути к достижению высоких показателей угледобычи представляют подземные пожары, которые приводят к полной потере или задержке добычи подготовленных к выемке запасов угля [1].

Пожары – наиболее распространенный вид аварий (около 50 % подземных аварий в шахтах), которые наносят угольной отрасли существенный материальный ущерб и сопровождаются большим риском для жизни и здоровья людей. Ликвидация пожаров сопряжена с

высокой вероятностью взрыва газовой смеси и возникновением других условий, опасных для жизни горноспасателей. Соответственно, получение достоверных данных о шахтной среде в аварийном участке путем прогнозирования газовой обстановки (температуры и концентраций газов) на всем протяжении горных выработок в течение всего периода ликвидации аварии – одно из главных условий безопасного и эффективного ведения спасательных работ.

Анализ ранее проводимых теоретических исследований [2 – 4] позволил установить, что предлагаемые ранее методы прогнозирования газовой обстановки при авариях не позволяют осуществлять оценку динамики концентраций газов с учетом условий проветривания, геометрических размеров горной выработки, коэффициентов массопереноса и других параметров. Поэтому цель настоящего исследования – моделирование процессов массопереноса для получения численным методом данных о газовой в аварийной горной выработке с источниками газовой выделения при пожаре.

При разработке математической модели массопереноса в выработках шахт при авариях для разработки метода прогнозирования газовой обстановки используем уравнение нестационарной конвективной диффузии газов [3 – 4]

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

где $\tilde{C}$ – средняя по сечению горной выработки концентрация пожарного 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 по горной выработке, м²/с;

j – коэффициент интенсивности поглощения газов, 1/с.

Для решения уравнения (1) применим численный конечно-разностный метод. Рассмотрим процесс переноса газов в горной выработке при возникновении в её начале источника газовой выделения с одним начальным и двумя 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 аварийного участка угольной шахты, м.

Выполнив сравнение результатов расчета загазования выработки при постоянно действующем источнике газовыделения (по разностной схеме) с аналитическим решением уравнения (1) при начальном и граничных условиях (2), получим

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

где C – концентрация газа (метана, водорода, оксида или диоксида углерода), кг/м³;

Φ – интеграл вероятности, 1.

При отсутствии проветривания 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 расчетов чистой диффузии газов (на примере газа-метана) в проветриваемой и непроветриваемой горных выработках аварийных участков угольных шахт представлены на рис. 1.

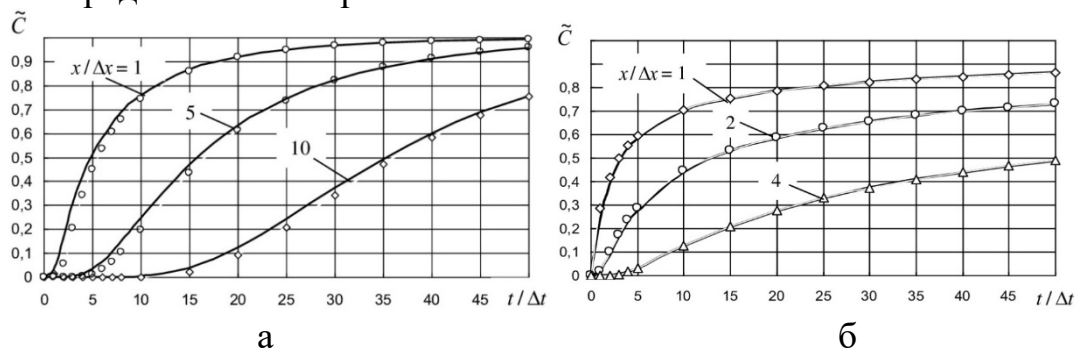


Рис. 1. Результаты численного моделирования (маркеры $\diamond$, $\circ$, Δ) и аналитические зависимости концентрации метана от времени на различных расстояниях от источника газовыделения в проветриваемой (а) и непроветриваемой (б) выработках шахт

Сравнение результатов теоретических исследований с экспериментальными данными, полученными при изучении динамики развития пожаров [5], позволило установить, что максимальная относительная погрешность не превышает 15 %.

Таким образом, проведено исследование процессов массопереноса в горной выработке аварийного участка угольной шахты при пожаре. Разработана математическая модель процессов массопереноса в горной выработке аварийного участка угольной шахты, позволяющая получать численным методом достоверные данные о газовой динамике на всем протяжении выработки с источниками газовыделения при пожаре для повышения безопасности труда горноспасателей и эффективности ведения работ по ликвидации последствий аварии.

Перечень ссылок

1. 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.
2. Ушаков, К.З. Газовая динамика шахт / К.З. Ушаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 481 с.
3. Пашковский, П. С. Опасность образования конвективных потоков при подземных пожарах в шахтах. Математическое моделирование и расчет параметров / П.С. Пашковский, Н.М. Кравченко, М.В. Кравченко // XXIV Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам пожарной безопасности : тез. докл.: в 3 ч. Ч. 3. – М.: ВНИИПО, 2012. – С. 387-390.
4. Агеев, В.Г. Закономерности формирования взрывоопасной среды в горных выработках при газодинамических явлениях / В.Г. Агеев, И.Н. Зинченко // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности: науч.-техн. журн. – Кемерово. – 2013. – № 1-2. – С. 30-37.
5. 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 «АГЗ» МЧС ДНР, 2021. – № 2 (26). – С. 74-83.

УДК [622.411.33:001.891.572]:622.454

О СЛОЕВЫХ СКОПЛЕНИЯХ МЕТАНА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТ

Е.Б. Николаев¹, А.Л. Кавера¹, А.В. Агарков^{1,2}, В.Е. Трегубенко¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Выполнено моделирование процессов слоевого загазования метаном горных выработок шахт, предложены методы ликвидации слоевых скоплений метана. Установлены зависимости процесса слоевого загазования, которые учитывают геометрию горной выработки, условия ее проветривания, дебит и кинематические характеристики газа – метана.

Annotation (Abstract). Modeling of the processes of layered methane gasification of mine workings has been performed, and methods for eliminating layered methane accumulations have been proposed. The dependencies of the layered gasification process have been established, taking into account the geometry of the mine workings, the conditions of their ventilation, the flow rate, and the kinematic characteristics of methane gas.

Ключевые слова: шахта; горная выработка; слоевые скопления метана; безопасность труда.

Keywords: mine; mine workings; layered methane accumulations; occupational safety.

Функционирования угольной промышленности – одно из направлений развития экономики Российской Федерации. Однако при отработке выемочных полей в процессе ведения горных работ опасность для шахтеров представляют слоевые скопления метана вдоль выработок, под которыми подразумевают относительно протяженную (10...210 м) область у кровли с повышенным содержанием [метана](#). Слойные скопления – одна из причин взрывов метановоздушной смеси в шахтах.

Образуются метановые слои в выработках при сосредоточенных (суфлярных) и рассредоточенных по поверхности [источниках](#) метана, при малой скорости движения воздуха (менее 1 м/с), когда поступление газа в подкровельное пространство превышает его вынос (интенсивное

выделение метана и низкая турбулентность воздушного потока). Чаще встречаются в выработках с большим сечением [1].

Известно, что слоевые скопления встречаются в тупиковых выработках на сопряжениях очистных забоев с вентиляционными штреками и в них. Однако отсутствуют методы прогнозирования длины и ширины метановых слоев в горных выработках шахт, что является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить уровень безопасности труда шахтеров при ведении горных работ. Важное практическое значение также имеет определение методов борьбы со слоевыми скоплениями метана [2, 3].

При определении слоевого скопления метана весьма затруднительно осуществлять большое количество измерений по длине и высоте выработки, поэтому параметры слоев можно рассчитать совместным решением уравнений движения воздуха, диффузии газов и неразрывности их потока. Для описания распределения газов в выработках используем уравнение конвективной диффузии метана. Пренебрежем поперечным конвективным переносом по сравнению с продольным переносом, а также диффузией в продольном и поперечном направлениях и получим

$$\frac{\partial(uC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + f, \quad (1)$$

где u – скорость воздуха по длине горной выработки, м/с;

C – концентрация метана, кг/м³;

x, y – продольная и вертикальная координаты в выработке, м;

D_y – коэффициент турбулентной диффузии метана в вертикальном направлении, м²/с;

f – интенсивность источников метановыделения, м³/(с·м³).

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) используем формулу при концентрированных источниках газовой выделения (суфлярных выделениях метана) и $y = 0$

$$C(x, 0) = C_n + \frac{q(x)}{Q(x)} + \frac{q_{сл}}{ub\sqrt{\pi a_k x}}, \quad (2)$$

где C_n – начальная концентрация метана в выработке, 1;

$q(x)$ – дебит метана, как функция от x вдоль выработки, м³/с;

$Q(x)$ – расход воздуха по длине горной выработки, м³/с;

$q_{\text{сл}}$ – дебит метана в слоевом скоплении, кг/м³;

b – ширина выработки, м.

Определенная в результате расчета длина метанового слоя составляет

$$x_n = \frac{\delta^2 R_i^{0,25} \sqrt{S}}{6,8\pi(C_n - C_m)^2}, \quad (3)$$

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:

$$y = 2\sqrt{a_k x} \left[\ln(\sqrt{x_n/x}) \right]^{0,5}. \quad (4)$$

Изолиния концентрации метана в выработке представлена на рис. 1 в безразмерных координатах.

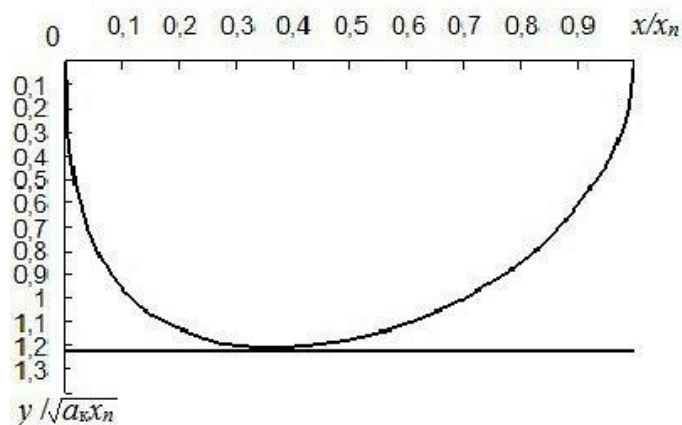


Рис. 1. Изолиния концентрации метана в слоевом скоплении выработки

Как видно из рис. 1, максимальная толщина слоя метана наблюдается ближе к месту газовыделения на расстоянии $x = 0,35x_n$ и равна

$$h_n = 1,22\sqrt{a_k x_n}, \quad (5)$$

где h_n – толщина слоевого скопления метана, м.

Результаты расчетов согласуются с экспериментальными данными в работе профессора К.З. Ушакова [2]. Разработанный численный метод расчета слоевого загазования метаном горных выработок позволяет повысить достоверность прогнозирования газовой обстановки в угольных шахтах.

В качестве мер борьбы со слоевыми скоплениями метана в выработках предлагаются методы увеличения расхода воздуха путем:

– использования нагнетательных взвихрывающих воздушных трубопроводов (рис. 2), работающих от вентилятора местного проветривания (далее – ВМП) или на сжатом воздухе пневмосети;

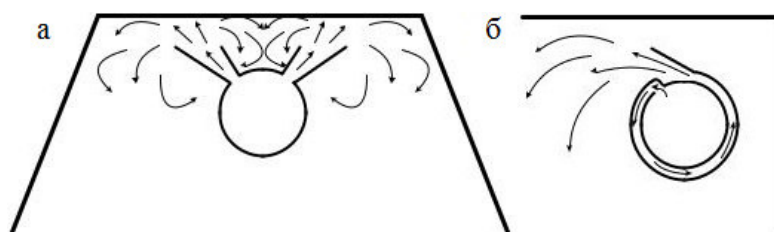


Рис. 2. Взвихрывающие воздушные трубопроводы:

а – выпуск воздуха из вентиляционной трубы в виде обычных свободных струй;
б – выпуск сжатого воздуха в виде закрученных свободных струй

– использования пневматических ВМП с перфорированными короткими трубопроводами (рис. 3);

– установки поперечных и наклонных (под углом 45° по направлению движения воздуха) щитков, расположенных в верхней части выработки и направляющих дополнительную часть воздуха к кровле выработки (рис. 4);

– использования легких дощатых и парусных перемычек (поперечных перегородок), перекрывающих нижнюю часть выработки (на $2/3$ высоты) и вызывающих увеличение скорости воздуха, при этом движущийся по выработке воздух направляют в подкровельное пространство (рис. 5);

– использования продольных перегородок и ВМП пневматического типа (рис. 6). Пространство между кровлей и перегородкой проветривается ВМП с помощью воздушного трубопровода;

– использования ВМП с коротким трубопроводом, подвешиваемым у кровли выработки (рис. 7);

– использования продольных и поперечных каналов в бутовых полосах под вентиляционным штреком с камерами смешивания на штреке (рис. 8).

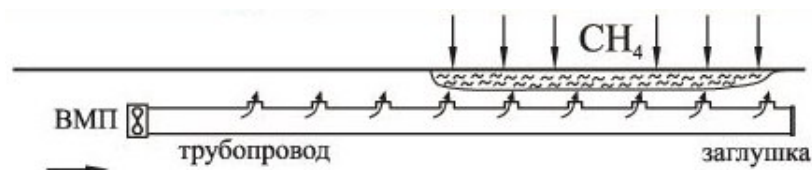


Рис. 3. Схема проветривания с помощью пневматических ВМП и перфорированными короткими трубопроводами

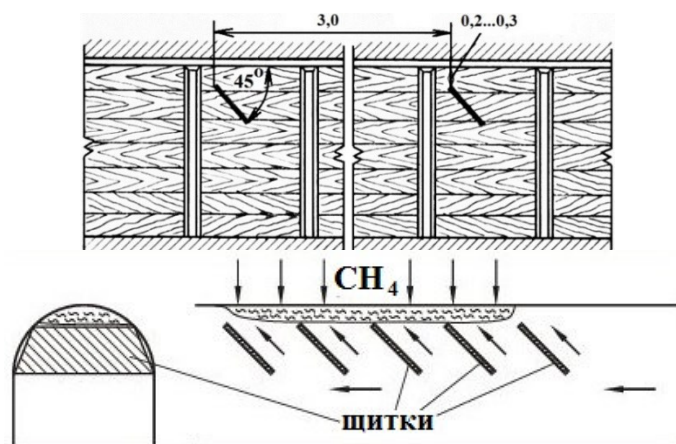


Рис. 4. Схемы расположения наклонных щитков в горной выработке



Рис. 5. Схема монтажа перемычки в нижней части выработки

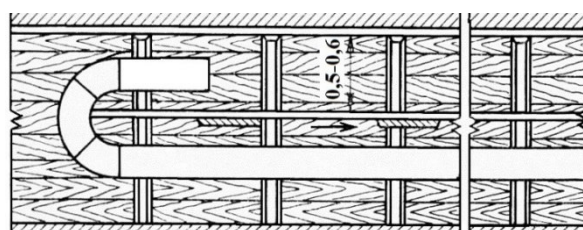


Рис. 6. Схема применения продольной перегородки для ликвидации слоевого скопления метана

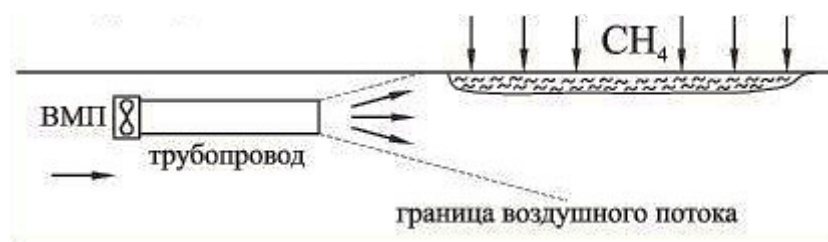


Рис. 7. ВМП с коротким трубопроводом

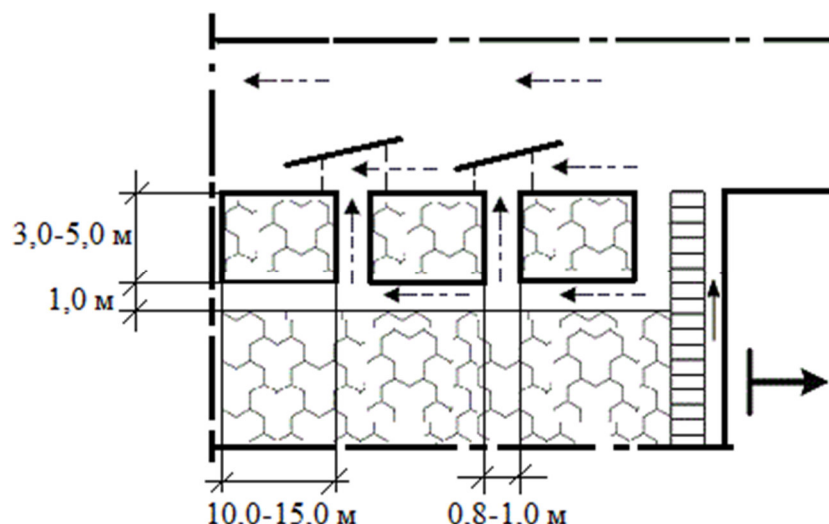


Рис. 8. Схема продольных и поперечных каналов в бутовых полосах под вентиляционным штреком с камерами смешивания на штреке

Для определения слоевого загазования горных выработок угольных шахт разработана математическая модель конвективной диффузии метана с учетом интенсивности источников газовыделения. Установлена зависимость длины и толщины метановых слоев от площади поперечного сечения горной выработки, скорости движения воздуха в ней и средней концентрации метана. На основании зависимостей разработан метод прогнозирования слоевого загазования выработок шахт, определения длины и толщины метановых слоев.

Применение предложенных способов борьбы со слоевыми скоплениями метана в выработках позволит повысить безопасность труда шахтеров при ведении горных работ на сопряжениях очистных забоев с вентиляционными штреками и в них. Предложенные метод прогнозирования газовой обстановки и способы ликвидации слоевых скоплений могут быть использованы при разработке нормативных правовых актов и методических, а также рекомендательных документов по безопасности труда в угольной промышленности.

Перечень ссылок

1. Ермолаев, А.М. Слоевые и местные скопления метана в тупиковых подготовительных выработках / А.М. Ермолаев // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2017. – № 4. – С. 33-40.
2. Ушаков, К.З. Газовая динамика шахт / К.З. Ушаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Изд-во МГГУ, 2004. – 481 с.
3. Брюханов, А.М. Формирование взрывоопасной среды в виде слоевых скоплений метана после внезапного выброса угольного массива и газа / А.М. Брюханов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 13. – С. 137-144.

УДК 622.02.112

**ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ
ВОДОНАСЫЩАЕМЫХ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД В
ПРОЦЕССЕ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

А.О. НОВИКОВ

ФГБНУ «Институт физики горных процессов»,

Россия г. Донецк, ДНР

e-mail: aleksandr_novikov_60@mail.ru

Аннотация. В статье приведены сведения о программе исследований, намеченных к выполнению в ФГБНУ «ИФГП» по установлению гидрофизических и физико-механических свойств осадочных пород разных литотипов при водонасыщении, а также предварительные результаты этих исследований.

Annotation. The article presents information on the research program planned for implementation at the Federal State Budgetary Scientific Institution "Institute of Physics of Mining Processes" to establish the hydro-physical and physic-mechanical properties of sedimentary rocks of different lithotypes under water saturation, as well as preliminary results of these studies.

Ключевые слова: порода, водонасыщение, гидрофизические, механические, свойства

Keywords: rock, water saturation, hydro-physical, mechanical properties

Последние десятилетия в Донбассе реструктурируют горнодобывающую промышленность. С использованием технологии «мокрой консервации» при которой после выдачи горно-шахтного оборудования, обеспечивающего подземные технологические процессы, происходит затопление выработок. В результате коренным образом меняется движение подземных вод, подтапливаются подработанные горными работами участки на земной поверхности. Из-за изменения механических свойств массивов горных пород, находящимися между выработанными пространствами и поверхностью, при насыщении их водой по технологическим трещинам, активизируются механические процессы их деформирования.

К сожалению, опыт закрытия шахт в Донбассе показывает, что современные представления о механизме и кинетике деформирования водонасыщаемых подработанных породных массивов не позволяют с достаточной степенью достоверности прогнозировать последствия

происходящих процессов, что при затоплении подземного пространства не редко приводит к поступлению воды на земную поверхность. В значительной степени это связано с тем, что недостаточно полно изучены закономерности изменения деформационных характеристик горных пород, возникающие при их длительном увлажнении и колебаниях влажности пород во времени.

Следует также отметить, что опубликованные в научно-технической литературе результаты проведенных экспериментальных исследований гидрофизических свойств пород, насыщенных водой [1], не достаточно представительны и плохо согласуются с результатами теоретических исследований в этой области знаний.

В связи с тем, что проведение натурных экспериментов, направленных на изучение закономерностей, происходящих в массивах геомеханических процессов, связанных с вариациями физико-механических и гидрофизических свойств вмещающих пород при изменении их влажности сопряжены с большими трудностями (часто не преодолимыми), наиболее рациональным представляется использование с этой целью теоретических методов исследований с проверкой полученных результатов лабораторными методами.

Такой подход к изучению закономерностей деформирования горных пород разного литотипа, степени нарушенности, вида содержащегося в породе воды и кинетики увлажнения ею позволит расширить круг современных представлений о происходящих процессах и повысить достоверность прогноза деформаций подработанной земной поверхности при затоплении выработанных пространств. Проведение таких исследований является актуальной научной проблемой.

Такие исследования поводятся в настоящее время в рамках темы «Изучение особенностей деформирования водонасыщаемых осадочных горных пород в процессе гидрогеохимических техногенных воздействий» в ФБГНУ «ИФГП». В соответствии с календарным планом выполнения работы намечено провести большой объем исследований, алгоритм которых представлен на рисунке 1.

Предварительно выполненные исследования в лабораториях ФБГНУ «ИФГП» показывают следующие результаты. При длительном (30 сут. и более) водонасыщении образцов пород цилиндрической формы происходит их набухание, выражающееся в увеличении объема и линейных размеров. Для глинистого сланца, песчаного сланца и песчаника увеличение диаметра составило до 0,6; 0,4 и 0,23% соответственно, а соотношение высоты образца к диаметру уменьшилось до 1,1; 2,0 и 0,9 раза. Причем стабилизация этого

процесса наступает у песчаников и песчаных сланцев через 4 – 12 суток, а у глинистых сланцев – через 10 – 20 суток.



Рис. 1 – Алгоритм выполнения лабораторных исследований гидрофизических и физико-механических свойств осадочных пород разных литотипов при водонасыщении

Наибольшее увеличение объема образцов в результате длительного водонасыщения установлено у образцов глинистого сланца – до 2,3%, а наименьшее - у образцов песчаника – до 0,53%.

При длительном водонасыщении наблюдалось изменение соотношения между содержащейся в образцах физически и химически связанной воды. Так, у глинистого сланца, песчаного сланца и песчаника содержание физически связанной воды увеличивалось соответственно в 2,05; 2,46 и 2,67 раза по сравнению с аналогичными показателями для естественной влажности, а химически связанной воды – в 1,19; 1,17 и 1,02 раза соответственно.

Что касается изменения прочностных свойств водонасыщенных пород (прочность на одноосное сжатие и растяжение), то у глинистого сланца, песчаного сланца и песчаника прочность на сжатие уменьшалась соответственно до 82,6; 41,6 и 46,5%, а прочность на растяжение – на величину до 24; 2,5 и 7,8 раза.

Выводы. В настоящее время, параллельно с проведением исследований продолжается работа по сбору и отбору материалов для выполнения экспериментальных изысканий, совершенствуется дизайн намеченных лабораторных экспериментов. По результатам работы будет разработан кадастр гидрофизических и физико-механических свойств осадочных пород разных литотипов при водонасыщении.

Перечень ссылок

1. Панов Г.Е. Предварительное увлажнение массивов на угольных шахтах и карьерах. – М.: Недра, 1970. –127 с.

УДК 331.45:614.8:66.02

АНАЛИЗ ПРАКТИКИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЗОПАСНОГО ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ НА ОПАСНО ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

К.А. Подвигин (доцент)

У.Н. Богодаева (студент)

ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»,
г. Череповец

Аннотация: на основе анализа материалов расследований происшествий на опасных производственных объектах установлены системные нарушения требований безопасности при ремонтных работах: некачественная подготовка оборудования, ослабленный контроль допуска, эксплуатация дефектных устройств, низкая квалификация персонала.

Abstract: Based on the analysis of incident investigation materials at chemical facilities, systemic safety violations during repair works **have been established:** inadequate equipment preparation, weakened admission control, operation of defective devices, low personnel qualification.

Ключевые слова: безопасность, ремонт, оборудование, подготовка, допуск, нарушения.

Key words: safety, repair, equipment, preparation, permit, violations.

Химическая промышленность характеризуется повышенной опасностью, причём большинство аварий и несчастных случаев происходит в период ремонтных работ, когда оборудование выведено из технологического режима [1, 2]. Действующая нормативная база, включая Федеральный закон № 116-ФЗ и отраслевые правила, не предотвращает повторяющихся нарушений, таких как некачественная подготовка оборудования, ослабленный контроль допуска и низкая дисциплина персонала [3]. В связи с этим в рамках настоящей работы поставлена цель выявить типовые нарушения при организации ремонтов химико-технологического оборудования и разработать рекомендации по их предупреждению. Объектом исследования выступает система организации ремонтов на опасных производственных объектах, а предметом — типовые нарушения и причины инцидентов.

Результаты исследования. Проведённый анализ материалов расследований Ростехнадзора, а также зарубежных регулирующих органов (Chemical Safety Board, США) за период 2018–2025 гг.

позволил систематизировать типовые нарушения требований безопасности при подготовке и проведении ремонтных работ на химико-технологическом оборудовании.[4,5].

Таблица 1

Систематизация типовых нарушений при ремонтных работах на химико-технологическом оборудовании

Категория нарушений	Характерные проявления	Выявленные последствия
Некачественная подготовка оборудования	Отсутствие полного освобождения от продукта; невыполнение пропарки, промывки, продувки инертным газом; неисправность или отсутствие заглушек; использование одиночной запорной арматуры вместо двойного блокирования	Выход остатков опасных веществ, воспламенение паров, взрывы, острые отравления персонала
Нарушения порядка допуска и контроля	Отсутствие наряда-допуска; проведение газоопасных работ без представителей газоспасательной службы; отсутствие анализа воздушной среды перед началом работ; необеспечение контроля со стороны должностных лиц	Групповые и смертельные несчастные случаи, возгорания при вскрытии оборудования
Технические и конструктивные недостатки	Эксплуатация неисправной запорной арматуры; отсутствие защитных кожухов на фланцевых соединениях; применение нестандартных прокладок и крепежа; отсутствие дренажных устройств для полного удаления продукта	Разгерметизация, выбросы опасных веществ, гидроудары, пожары
Низкая квалификация и дисциплина персонала	Допуск неаттестованных работников; неприменение средств индивидуальной защиты; нахождение на рабочем месте в состоянии опьянения; игнорирование требований безопасности	Тяжёлые травмы, ожоги, падения в ёмкостное оборудование, летальные исходы

Как видно из таблицы 1, каждая категория нарушений формирует самостоятельный канал реализации опасности. Наглядной иллюстрацией служат аварии на ПАО «Нижекамскнефтехим», произошедшие в 2018 году и расследованные Приволжским управлением Ростехнадзора. В первом случае (17 июня), при установке заглушки на емкость для приема гексанового растворителя в ходе подготовки к ремонту, произошёл выход остатков продукта через разъём фланцевого соединения с последующим воспламенением от

разряда статического электричества; пострадали два человека. Расследование установило, что проектом не была предусмотрена возможность полного освобождения ёмкости от растворителя. Во втором случае (10 июля) на том же предприятии при проведении газоопасных работ воспламенились пары промывного гексанового растворителя, в результате чего слесарь получил ожоги, несовместимые с жизнью. Работы проводились без оформления наряда-допуска, в вечернюю смену и без присутствия представителей газоспасательной службы; контроль со стороны ответственных лиц полностью отсутствовал.

Согласно указанной программе, за 9 месяцев 2025 года на поднадзорных Ростехнадзору опасных производственных объектах зарегистрировано 57 аварий, из них 16 сопровождались несчастными случаями со смертельным исходом, в результате аварий погибло 44 человека.



Рисунок 1 — Структура нарушений при подготовке оборудования к ремонту (по результатам анализа 23 актов расследования Ростехнадзора, 2023–2025 гг.)

Как видно из рисунка 1, наиболее распространённым нарушением является неполное удаление продукта из оборудования перед началом ремонтных работ (39,1 % случаев в подвыборке, или 9 происшествий). Вторым по частоте нарушением выступает отсутствие или некачественное выполнение пропарки и промывки оборудования (26,1 %, 6 случаев), что согласуется с требованиями пункта 2.2.7 Федеральных норм и правил «Правила безопасного ведения газоопасных, огневых и ремонтных работ».

Таблица 2

Комплекс мер по повышению безопасности ремонтных работ на химико-технологическом оборудовании

Направление	Конкретные мероприятия	Ожидаемый эффект
Внедрение стандартных операционных процедур (СОП)	Разработка СОП для этапов опорожнения, пропарки, промывки, продувки инертным газом и установки заглушек; включение в СОП чек-листов контроля выполнения каждой операции	Исключение неполного удаления продукта (39,1 % нарушений) и пропуска обязательных операций подготовки
Усиление трёхуровневого контроля	Первый уровень — самоконтроль исполнителя; второй — контроль мастера (руководителя работ); третий — контроль специалиста по охране труда или службы производственного контроля	Снижение доли нарушений допуска и контроля (27,8 % происшествий), обеспечение неукоснительного соблюдения наряда-допуска
Техническое дооснащение	Оснащение фланцевых соединений защитными кожухами; применение двойных блок-клапанов с дренажем вместо одиночной запорной арматуры; установка дренажных устройств для полного удаления продукта	Предотвращение разгерметизации и выбросов опасных веществ, снижение технических причин аварий (14,8 %)
Интеграция программ обучения	Включение в аттестацию по промышленной безопасности блоков оказания первой помощи; дополнение инструктажей по охране труда разделами о газовом контроле и действиях при срабатывании сигнализации	Повышение компетентности персонала, снижение дисциплинарных нарушений (9,3 %)

Как видно из таблицы 2, каждое направление привязано к конкретным нарушениям, выявленным на этапе анализа, и направлено на устранение их корневых причин.



Рисунок 2 — Предлагаемая структура системы управления безопасностью ремонтных работ на химико-технологическом оборудовании

Как видно из рисунка 2, центральным элементом системы является единый контур управления, объединяющий четыре функциональные подсистемы: стандартные операционные процедуры (СОП), трёхуровневый контроль допуска, техническое дооснащение и интегрированное обучение персонала.

Выводы: Проведённый анализ материалов расследований аварий и инцидентов на химических и нефтехимических объектах, а также данных Программы профилактики Ростехнадзора на 2026 год позволил установить, что доминирующими причинами происшествий при ремонтных работах выступают некачественная подготовка оборудования (42,6 % случаев в выборке) и нарушения порядка допуска персонала (27,8 %). В рамках первой категории наиболее распространёнными нарушениями являются неполное удаление продукта (39,1 %) и отсутствие либо некачественное выполнение пропарки и промывки (26,1 %).

Обоснована необходимость внедрения комплекса организационно-технических мер, включающего: разработку, применение стандартных операционных процедур подготовки оборудования с обязательными чек-листами; усиление трёхуровневого контроля допуска к газоопасным работам; техническое дооснащение фланцевых соединений защитными кожухами и применение двойных блок-клапанов с дренажем; интеграцию программ обучения персонала по промышленной безопасности и охране труда.

Реализация предложенных мер может способствовать снижению вероятности аварийных ситуаций и производственного травматизма при проведении ремонтных работ на опасно производственных объектах.

Перечень ссылок

1. Российская Федерация. Законы. О промышленной безопасности опасных производственных объектов : Федеральный закон № 116-ФЗ : [принят

Государственной думой 20 июня 1997 года : одобрен Советом Федерации 3 июля 1997 года] : (редакция от 31.07.2025). — Текст : электронный // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 22.04.2026).

2. Российская Федерация. Приказы. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасного ведения газоопасных, огневых и ремонтных работ» : Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 № 528 : зарегистрирован в Минюсте России 28.12.2020 № 61847. — Текст : электронный // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 22.04.2026).

3. Российская Федерация. Приказы. Об утверждении Программы профилактики рисков причинения вреда (ущерба) охраняемым законом ценностям при осуществлении федерального государственного надзора в области промышленной безопасности на 2026 год : Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19.12.2025 № 448. — Текст : электронный // Официальный сайт Ростехнадзора. — URL: <http://www.gosnadzor.ru> (дата обращения: 22.04.2026).

4. Ростехнадзор подвел итоги 2024 года. — Текст : электронный // ТрудОхрана : [сайт]. — 2025. — 31 марта. — URL: <https://www.trudohrana.ru> (дата обращения: 22.04.2026).

5. Волжско-Окское управление Ростехнадзора провело публичные обсуждения результатов правоприменительной практики за 6 месяцев 2025 года. — Текст : электронный // Официальный сайт Ростехнадзора. — 2025. — 30 сентября. — URL: <http://www.gosnadzor.ru> (дата обращения: 22.04.2026).

© К.А. Подвигин, У.Н. Богодаева 2026

УДК 331.45:658.382

АНАЛИЗ ПРАКТИКИ УЧЕТА И РАССЛЕДОВАНИЯ МИКРОТРАВМ НА ПРЕДПРИЯТИИ

К.А. Подвигин (доцент)

Е.А. Пыжова (студент)

ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»,
г. Череповец

Аннотация: в статье проведен анализ полноты учета микротравм на предприятии в соответствии с требованиями Трудового кодекса Российской Федерации. Выявлены причины неучета микротравм. Рассмотрены статистические, социологические, аналитические и инженерно-технические методы исследования микротравм. Разработаны рекомендации по внедрению системы учета и анализа микротравм.

Abstract: The article analyzes the completeness of microtrauma recording at an enterprise in accordance with the requirements of the Labor Code of the Russian Federation. The reasons for the underreporting of microtraumas are identified. Statistical, sociological, analytical, and engineering-technical methods for studying microtraumas are reviewed. Recommendations are developed for the implementation of a system for recording and analyzing microtraumas.

Ключевые слова: микротравма, учет микротравм, охрана труда, система управления охраной труда, профессиональные риски, методы расследования, анкетирование, геоинформационные системы.

Key words: microtrauma, recording of microtraumas, labor protection, occupational safety management system, professional risks, investigation methods, questionnaire, geographic information systems.

Анализ полноты и качества учета микротравм на предприятии представлен в Таблице 1. Современная система учета на предприятии может считаться полной и качественной, если она не только фиксирует факт микротравмы, но и встраивает эту информацию в контур управления профессиональными рисками. [1,2]

Таблица 1

Сравнительный анализ требований к учету микротравм, содержащихся в Трудовом кодексе и подзаконных актах

Аспект	Трудовой кодекс РФ	Приказ Минтруда № 632н	Приказ № 776н (СУОТ)
Определение микротравмы	Прямого развернутого определения нет	Четкое: ушибы, поверхностные раны без утраты	Используется как элемент учета опасностей
Основание для учета	Общая обязанность работодателя	Обращение работника или медработника	Связь с управлением профессиональными
Сроки рассмотрения	Не конкретизированы	До 3 календарных дней с момента получения	Не регламентирует напрямую
Процедура расследования	Общие требования к расследованию	Упрощенная процедура: опрос, осмотр места,	Требует анализа причин как элемента СУОТ
Перечень документов	Не установлен отдельно для микротравм	Справка и журнал учета микротравм	Требует интеграции в документацию СУОТ
Интеграция в систему управления	Общая обязанность работодателя (ст. 214.5)	Рекомендательная (советует использовать)	Обязательная: микротравма означает
Анализ причин	Не детализирован	Указывается как элемент процедуры	Обязателен с разработкой корректирующих

Методы исследования микротравм, используемые на производстве

1. Статистические и социологические методы [3]

Анкетирование: авторы использовали этот метод для сбора данных о частоте травм, факторах риска и поведении работников [3]. Из недостатков это то, что результаты зависят от качества составления вопросов и выборки респондентов.

Анализ эмпирических данных: обработка статистики несчастных случаев и сопутствующих факторов для выявления корреляций [3]. Метод не учитывает неформальные практики и человеческий фактор.

2. Аналитические методы моделирования [3]

Системный анализ: оценка параметров рисков инцидентов. Позволяет оценивать взаимосвязи между техническими, организационными и человеческими факторами.

3. Инженерно-технические и цифровые методы

Геоинформационные системы (ГИС): Привязка событий к конкретным объектам на карте предприятия для выявления опасных зон [3].

Интеллектуальное видеонаблюдение: Потенциальный метод автоматического выявления нарушений и опасных ситуаций в реальном времени. Из недостатков очень высокая стоимость внедрения.

Рекомендации по улучшению методов с учетом недостатков.

Для улучшения анкетирования стоит внедрить периодическое анонимное электронное анкетирование через мобильное приложение с автоматической агрегацией и анализом ответов.

Для улучшения анализа эмпирических данных создать единую цифровую базу микротравм с обязательными полями: дата, время, место, профессия, стаж, характер повреждения, причина, принятые меры. Внедрить автоматический расчет показателей для выявления тенденций.

Для улучшения применения ГИС в качестве дешевой альтернативы использовать привязку к статическим зонам – это можно сделать в обычной Excel-таблице с фильтрами.

Для улучшения интеллектуального видеонаблюдения внедрять только на наиболее травмоопасных участках. Это снижает стоимость.



Рисунок 1 - Схема учета микротравм с помощью предлагаемой многоуровневой системы

Выводы: внедрение предложенных улучшений позволяет комплексно устранить главные недостатки всех пяти методов: неполноту данных, высокую стоимость, субъективизм и сложность интерпретации. В результате формируется эффективная, масштабируемая система учета микротравм, которая обеспечивает достоверную статистику, выявление корневых причин и повышает готовность работников сообщать о происшествиях.

Перечень ссылок

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 29.12.2025, с изм. от 06.02.2026). – Текст : непосредственный.
2. Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда : приказ Минтруда России от 29.10.2021 № 776н. – Текст : непосредственный.
3. Климова, Е. В. Система повышения безопасности труда путем учета, анализа и прогнозирования микротравм / Е. В. Климова, В. А. Петрова. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. – Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. – № 4 (42). – С. 119–123.

© К.А. Подвигин, Е.А. Пыжова 2026

УДК 331.45:614.8:614.835

ГАРМОНИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЫ ТРУДА ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

К.А. Подвигин (доцент)

Е.Э. Юмалова (студент)

ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»,
г. Череповец

Аннотация: выполнен сравнительный анализ требований охраны труда и промышленной безопасности для легковоспламеняющихся жидкостей и горючих газов (бензол, аммиак). Выявлены противоречия в контроле воздуха, выборе средств индивидуальной защиты и классификации инцидентов, что ведёт к ошибкам персонала. Предложена гармонизация документов: адаптация инструкций, единый реестр опасностей, интеграция обучения и унификация нарядов-допусков.

Abstract: A comparative analysis of labor protection and industrial safety requirements for flammable liquids and combustible gases (benzene, ammonia) was performed. Contradictions in air monitoring, selection of personal protective equipment, and incident classification were identified, leading to risks of personnel errors. Measures to harmonize internal documentation are proposed: adapting work instructions, a unified hazard register, integrating training, and standardizing work permits.

Ключевые слова: безопасность, гармонизация, требования, вещества, документация, интеграция.

Key words: safety, harmonization, requirements, substances, documentation, integration.

На предприятиях, эксплуатирующих опасные производственные объекты, требования промышленной безопасности и охраны труда исторически развивались в рамках разных ведомственных подходов, что привело к параллельному существованию двух систем регулирования при обращении с одними и теми же опасными веществами [1, 2]. Это выражается в дублировании процедур, несогласованности терминологии и неоднозначности регламентов действий персонала при переходе от штатного режима работы к аварийной ситуации [2, 5]. Особенно остро данная проблема проявляется при обращении с легковоспламеняющимися жидкостями и

горючими газами, поскольку такие вещества одновременно являются источником вредного химического воздействия на организм работника и фактором взрывопожароопасности [3, 4]. Целью исследования стало выявление зон пересечения и расхождения требований промышленной безопасности и охраны труда и разработка рекомендаций по их гармонизации во внутренних документах предприятия. В качестве репрезентативных объектов рассмотрения выбраны бензол (легковоспламеняющаяся жидкость) и аммиак (горючий газ), которые прямо поименованы в Федеральном законе № 116-ФЗ [1] и обладают выраженной двойственной природой опасности, что позволяет проследить специфику интеграции требований для веществ в разных агрегатных состояниях. Предметом исследования выступают конкретные пересечения норм промышленной безопасности и охраны труда в рамках внутренней документации предприятия при обращении с бензолом и аммиаком, а практическим выходом работы - предложения по адаптации инструкций, реестров опасностей, программ обучения и нарядов-допусков [5].

Результаты исследования. Обращение с бензолом и аммиаком регулируется двумя блоками требований: охраной труда для защиты здоровья работника от вредного химического воздействия и промышленной безопасностью с нормами, ориентированными на предотвращение аварийных ситуаций и взрывов. Различие целевых установок проявляется при сопоставлении предписаний по идентификации веществ, организации рабочих мест, выбору средств индивидуальной защиты и контролю воздушной среды. В таблице 1 приведена сводка опасных свойств бензола и аммиака и соответствующих требований.

Таблица 1

Сравнительная характеристика опасных свойств бензола и аммиака и соответствующих требований ОТ и ПБ

Параметр	Бензол	Аммиак
Агрегатное состояние	Жидкость	Газ (сжиженный)
Класс опасности (ГОСТ 12.1.007)	2 (высокоопасный)	2 (высокоопасный)
ПДК рабочей зоны, мг/м ³	5	20
Температура вспышки, °С	–11	Не применимо (газ)
Марка фильтрующего противогаза (ОТ)	А (органические пары)	КД (аммиак)

Параметр	Бензол	Аммиак
Тип СИЗ в аварийном режиме (ПБ)	Изолирующий дыхательный аппарат	Изолирующий дыхательный аппарат
Основная опасность по 116-ФЗ	ЛВЖ, токсичность	Горючий газ, токсичность

Оба вещества относятся ко второму классу опасности по токсикологии, однако их взрывопожароопасные характеристики различаются: бензол - легковоспламеняющаяся жидкостью с низкой температурой вспышки, аммиак - горючий газ, образующий взрывоопасные смеси. Это определяет требования к герметизации оборудования, противоаварийной защите и маркам средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Общая зона охраны труда и промышленной безопасности: контроль воздуха, герметизация оборудования, обучение действиям при авариях и применение средств индивидуальной защиты в нештатных ситуациях. Охрана труда дополнительно регулирует мониторинг предельно допустимых концентраций, выдачу средств защиты по химическому фактору и медицинские осмотры. Промышленная безопасность фокусируется на контроле дозврывоопасных концентраций, системах противоаварийной защиты и категорировании помещений по взрывопожароопасности.

Наиболее критичное различие целей контроля воздушной среды: для охраны труда это предотвращение хронического отравления, для промышленной безопасности — предупреждение взрыва.

Разрыв между гигиеническим нормативом и взрывоопасным порогом составляет три-четыре порядка. Это приводит к тому, что газоанализаторы, настроенные на предотвращение взрыва, не способны своевременно сигнализировать о превышении ПДК, а приборы, ориентированные на гигиенический контроль, бесполезны для предупреждения аварийной загазованности. Это подтверждает необходимость чёткого разграничения функций систем контроля во внутренней документации предприятия и согласования уставок сигнализации с обоими типами рисков.

На рисунке 1 представлена предлагаемая структура единого реестра опасностей.

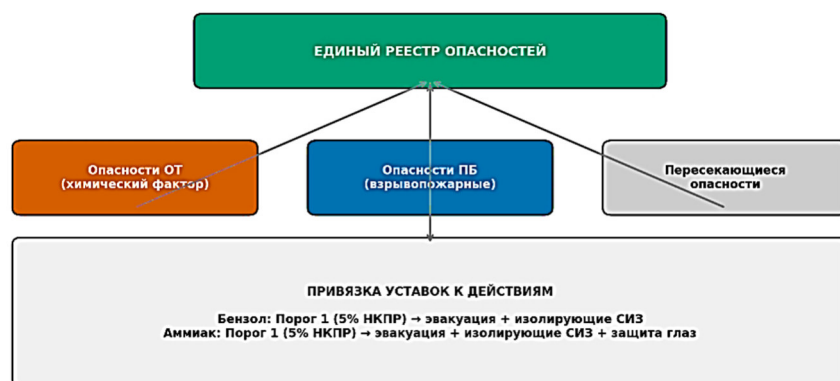


Рисунок 1 – Предлагаемая структура единого реестра опасностей с привязкой уставок газоанализаторов к действиям персонала

Как видно из рисунка 1, центральным элементом реестра становится связь между пороговыми значениями концентраций и требуемыми действиями персонала, что устраняет неоднозначность при переходе от штатного режима к аварийному. В частности, для бензола и аммиака уставка «Порог 1» (5 процентов НКПР) одновременно квалифицируется как сигнал готовности к взрыву и триггер для перехода на изолирующие средства индивидуальной защиты.

Вторым направлением гармонизации является интеграция программ обучения персонала, схематически показанная на рисунке 2.



Рисунок 2 – Сравнение структуры обучения: текущая разрозненная система (слева) и предлагаемая интегрированная система (справа)

Как видно из рисунка 2, предлагаемый подход предполагает включение смежных вопросов в экзаменационные билеты: в проверку знаний по промышленной безопасности добавляются блоки оказания первой помощи, а в обучение по охране труда - основы понимания уставок систем газового контроля и алгоритмы действий при их срабатывании. Дополнительными мерами являются адаптация инструкций путём внесения в них чёткого разграничения действий в штатном и аварийном режимах, а также унификация наряда-допуска на газоопасные работы. В последнем случае в существующую форму предлагается добавить два подраздела: меры промышленной

безопасности (пропарка, заглушки, контроль давления) и меры охраны труда (смывающие средства, аптечка с антидотами, режим труда в изолирующих средствах защиты). Реализация предложенных мер позволит снизить вероятность ошибочных решений персонала и создать единую систему управления рисками при обращении с легковоспламеняющимися и токсичными веществами.

Выводы: проведённый анализ позволил установить, что существующее параллельное регулирование создаёт зоны неоднозначности, способные привести к ошибочным действиям персонала в критических ситуациях. Основные противоречия сосредоточены в подходах к контролю воздушной среды и регламентах применения средств индивидуальной защиты: охрана труда предписывает фильтрующие противогазы для штатных операций, а планы локализации аварий - изолирующие аппараты в зонах возможного образования взрывоопасных смесей. Для устранения выявленных противоречий предложен комплекс мер по гармонизации внутренней документации предприятия: адаптация инструкций с разграничением действий в штатном и аварийном режимах; формирование единого реестра опасностей, увязывающего уставки газоанализаторов с конкретными защитными мероприятиями; интеграция программ обучения; унификация наряда-допуска на газоопасные работы с добавлением разделов по охране труда. Реализация указанных мер позволит снизить вероятность некорректной интерпретации нормативных требований и создать единую систему управления рисками при обращении с легковоспламеняющимися и токсичными веществами.

Перечень ссылок

1. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (ред. от 08.08.2024).
2. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 06.04.2024), ст. 227–231.
3. Приказ Минтруда России от 27.11.2020 №834н 1«Об утверждении Правил по охране труда при использовании отдельных видов химических веществ и материалов, при химической чистке, стирке, обеззараживании и дезактивации» (Зарегистрировано в Минюсте России 22.12.2020 № 61680).
4. Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 528 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасного ведения газоопасных, огневых и ремонтных работ"»
5. Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 № 503 «Об утверждении Порядка проведения технического расследования причин аварий, инцидентов и случаев утраты взрывчатых материалов промышленного назначения на опасных производственных объектах» (Зарегистрировано в Минюсте России 25.12.2020 № 61807).

© К.А. Подвигин, Е.В. Е.Э. Юмалова 2026

УДК 622.831.322:63

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЫБРОСООПАСНОСТИ
УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ГЛАВНОЙ АНТИКЛИНАЛИ
В ЦЕНТРАЛЬНОМ РАЙОНЕ ДОНБАССА**

А. Г. Радченко¹, К. В. Репина¹, Н.С. Федосова¹, А. А. Радченко²

1–Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, ул. Челюскинцев, д. 291, г.

Донецк, 283004, ДНР

2– ООО «Дока», переулок Новотрубный, д. 1, г. Таганрог, РФ

Аннотация. В статье рассмотрены результаты статистического анализа изменения числа внезапных выбросов угля и газа на участках северного и южного крыльев Главной антиклинали в Центральном районе Донбасса.

Annotation. The article discusses the results of a statistical analysis of changes in the number of sudden coal and gas emissions in the northern and southern wings of the Main Anticline in the Central District of Donbas.

Ключевые слова: внезапные выбросы угля и газа, Главная антиклиналь, северное крыло, южное крыло, статистический анализ, коэффициент детерминации, степень метаморфизма углей

Keywords: sudden coal and gas emissions, Main Anticline, northern wing, southern wing, statistical analysis, determination coefficient, degree of coal metamorphism

Донецко-Макеевский и Центральный геолого-промышленные районы Донбасса являются наиболее тектонически нарушенными и опасными по внезапным выбросам угля и газа [1]. По данным работы [2] был выполнен статистический анализ внезапных выбросов угля и газа, произошедших на шахтах Донбасса за период 1946 –2006 гг. Анализ показал, что в Донецко-Макеевском районе зафиксировано 925 внезапных выбросов угля и газа, из них: а) на шахтах г. Донецка – 852 выброса; б) на шахтах г. Макеевки – 73 выброса. В Центральном районе Донбасса произошло 898 внезапных выбросов угля и газа, из них: а) на северном крыле Главной антиклинали было зафиксировано 198 выбросов; б) на южном крыле Главной антиклинали было зарегистрировано 700 выбросов угля и газа. Южное крыло Главной антиклинали отличается более высокой газодинамической активностью по сравнению с северным крылом. Поэтому **целью настоящей работы** является выяснение причин и физической

сущности повышенной газодинамической активности Южного крыла Главной антиклинали в Центральном районе Донбасса (ЦРД) по сравнению с северным крылом. Результаты статистического анализа внезапных выбросов угля и газа по шахтам ЦРД приведены в таблице 1.

Таблица 1– Результаты статистического анализа по шахтам Центрального района Донбасса

Северное крыло	N _в	V ^{daf} , %	S _м , %	Южное крыло	N _в	V ^{daf} , %	S _м , %
Северная	9	34	66	Им. Ф. Э. Дзержинского	24	32	68
Изотова	11	28	72	Новая	1	26	74
Им. К. Я. Румянцева	33	24	76	Новая Валюга	2	41	59
Им. М. И. Калинина	37	20	80	Им. Артема	21	31	69
Кондратьевка	25	18	82	Южная	1	27	73
Углегорская	26	10	90	Им. Ю.А. Гагарина	8	31	69
№ 3 ш/у Александровское	33	9	91	Комсомолец	30	31	69
№ 4 ш/у Александровское	4	8	92	Им. В. И. Ленина	16	30	70
Булавинская	13	8	92	Кочегарка	33	30	70
Ольховатская	7	7	93	Им. А. И. Гаевского	66	28	72
Всего по крылу:	198			Им. Карла Маркса	80	19	81
				Красный Профинтерн	106	19	81
				Красный Октябрь	154	16	84
				Юный Коммунар	158	13	87
				Всего по крылу:	700		

Приведенный в таблице 1 показатель степени метаморфизма углей рассчитывался по формуле:

$$S_m = 100 - V^{daf}, \% \quad (1)$$

Изменение числа внезапных выбросов угля и газа - N_{выб} в ряду метаморфизма углей – S_м в северном крыле Главной антиклинали ЦРД показано на рисунке 1.

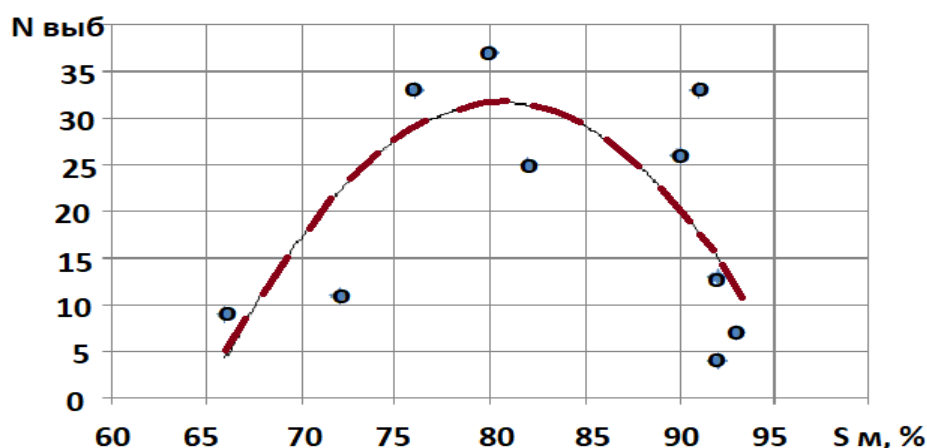


Рисунок 1– Изменение числа внезапных выбросов - N_{vyb} в ряду метаморфизма углей - S_m в северном крыле Главной антиклинали ЦРД

С позиций математической статистики характер изменения количества внезапных выбросов угля и газа- N_{vyb} в зависимости от степени метаморфизма углей - S_m в северном крыле Главной антиклинали ЦРД может быть описан полином второй степени:

$N_{vyb} = -0,13S_m^2 + 20,71S_m - 802,87$; коэффициент детерминации при этом составил $R^2 = 0,53$. График изменения числа внезапных выбросов - $N_{общ}$, в южном крыле Главной антиклинали в зависимости от степени метаморфизма углей - $S_m, \%$ представлен на рисунке 2.

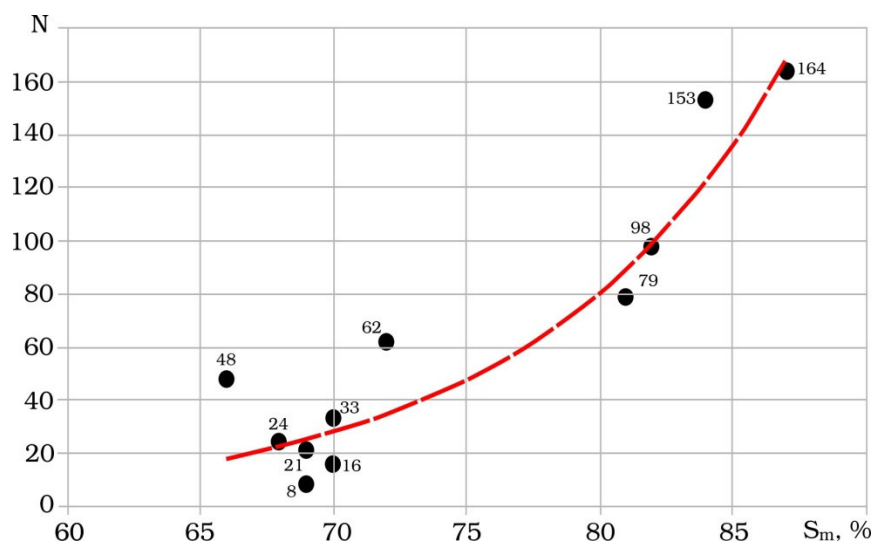


Рисунок 2 – Изменение числа внезапных выбросов угля и газа - N_{vyb} в южном крыле Главной антиклинали ЦРД в зависимости от степени метаморфизма углей – $S_m, \%$

Необходимо отметить, что показанный на рисунке 2 график

изменения числа внезапных выбросов угля и газа - $N_{\text{выб}}$ в зависимости от степени мета-морфизма углей - S_m , % может быть представлен экспонентой, уравнение которой имеет вид: $N_{\text{выб}} = 0,0095 \exp(0,113 S_m)$. При этом коэффициент детерминации составил $R^2 = 0,76$.

На рисунке 3 показаны графики изменения количества внезапных выбросов угля и газа – $N_{\text{выб}}$ на южном – (1) и северном – (2) крыльях Главной антиклинали ЦРД в зависимости от степени метаморфизма углей – S_m , %.

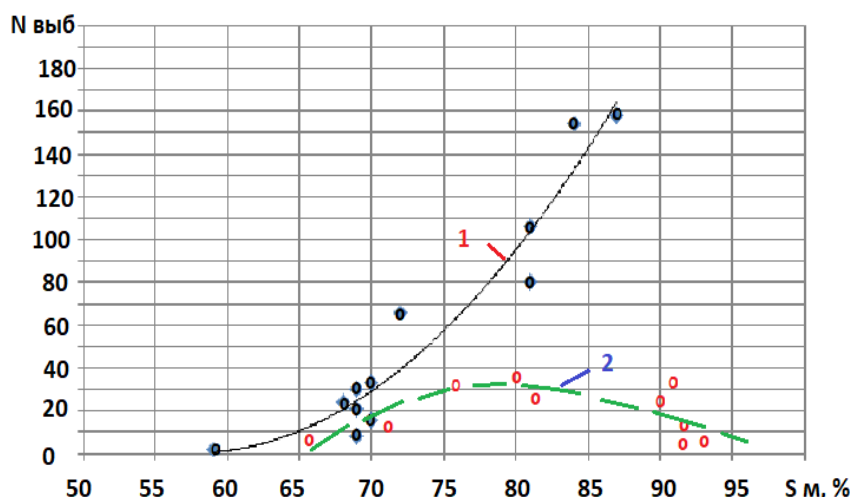


Рисунок 3– Графики изменения количества внезапных выбросов угля и газа

на шахтах Главной антиклинали ЦРД: 1- южное крыло; 2- северное крыло.

Обсуждение полученных результатов. Из таблицы 1 и рисунка 3 следует, что южное крыло Главной антиклинали по сравнению с северным крылом характеризуется более высокой газодинамической активностью. С

позиций физико-механической модели В. В. Ходота [3] этот факт объяснить невозможно. Необходимо выяснить причины и физическую сущность повышенной газодинамической активности южного крыла Главной антиклинали в ЦРД по сравнению с северным крылом.

При решении поставленной задачи были применены основные положения новой физико-химической модели [4]. Согласно указанной модели [4] и работы [5], природная газоносность угольных пластов в антрацитах и суперантрацитах снижается по следующим направлениям: а) с ростом степени метаморфизма углей; б) с ростом глубины залегания угольных пластов, так как с ростом глубины степень метаморфизма углей также возрастает.

В южном крыле Главной антиклинали залегают менее

метаморфизованные марки углей в диапазоне изменения весового выхода летучих веществ $V^{daf}=41-13\%$. В северном крыле Главной антиклинали залегают более метаморфизованные марки углей в диапазоне изменения $V^{daf}=34-7\%$. Таким образом, в восточной части северного крыла Главной антиклинали залегают антрациты.

Практика ведения горных работ на антрацитовых угольных пластах в Донбассе полностью подтверждает факт снижения выбросоопасности углей высокой стадии метаморфизма. Так например, за период 1946–2006 гг. в Донбассе в условиях ПО «Шахтерсантрацит» зафиксировано 29 внезапных выбросов угля и газа, на шахтах ПО «Торезантрацит» произошло всего 3 внезапных выброса.

Дальнейшие перспективы. В дальнейшем намечается провести исследования по следующим направлениям: 1) детальное изучение горно-гео-логических и тектонических условий залегания угольных пластов в условиях Главной антиклинали ЦРД; 2) исследования марочного состава угольных пластов на северном и южном крыльях Главной антиклинали и связь их с выбросоопасностью угольных пластов.

Выводы.

1. На северном крыле Главной антиклинали ЦРД шахты отрабатывали угли более высоких стадий метаморфизма со значениями $V^{daf}=34-7\%$ и с более низкими значениями природной газоносности - $X_{пр}$ угольных пластов.

2. На южном крыле Главной антиклинали ЦРД шахты отрабатывали угли более низких стадий метаморфизма со значениями $V^{daf}=41-13\%$ и с более высокими значениями природной газоносности - $X_{пр}$ угольных пластов.

Эти факторы обусловили более высокую газодинамическую активность южного крыла Главной антиклинали в условиях ЦРД.

Перечень ссылок

1. Минеев, С. П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография] / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. – 603с.

2. Волошин, Н. Е. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906 – 2007 гг.: справочник / Н. Е. Волошин, Л. А. Вайнштейн, А. М. Брюханов и др. // Донецк: СПД Дмитренко, 2008. – 920 с.

3. Ходот, В. В. Внезапные выбросы угля и газа / В. В. Ходот – М.: Госгортехиздат, 1961. – 363 с.

4. Радченко, А. Г. Новые модели формирования выбросоопасных зон в угольных пластах на региональном и текущем уровнях / А. Г. Радченко, Н. Н. Киселев, С. М. Федотов, Т. А. Решетняк, А. А. Радченко // Журнал теоретической и прикладной механики. – Донецк, ДонНУ, 2021. – № 3 (76) С. 53–68.

5. Косенко, Б. М. Изменение содержания метана и высших углеводородов в каменных углях и антрацитах Донбасса / Б. М. Косенко // Геология угольных месторождений. М., 1969. – Т.1. С. 129 – 135.

УДК 622.831.322:63

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ВЫБРОСООПАСНОСТИ
УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ГЕОЛОГО-
ПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ ДОНБАССА**

А. Г. Радченко¹, С. Г. Салий¹, А. А. Петрова¹, А. А. Радченко²

1–Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, ул. Челюскинцев, д. 291, г.

Донецк, 283004, ДНР

2– ООО «Дока», переулок Новотрубный, д. 1, г. Таганрог, РФ

***Аннотация.** В статье рассмотрены результаты статистического анализа внезапных выбросов угля и газа, произошедших в южном крыле Главной антиклинали на шахтах Центрального геолого-промышленного района Донбасса.*

***Annotation.** The article discusses the results of a statistical analysis of sudden coal and gas emissions that occurred in the southern wing of the Main Anticline at the mines of the Central Geological and Industrial Region of Donbas.*

***Ключевые слова:** внезапные выбросы угля и газа, Главная антиклиналь, южное крыло, статистический анализ, коэффициент корреляции, коэффициент детерминации, степень метаморфизма углей*

***Keywords:** sudden coal and gas emissions, Main Anticline, southern wing, statistical analysis, correlation coefficient, determination coefficient, degree of coal metamorphism*

Анализ литературы [1] показал, что наиболее тектонически нарушенными и опасными по внезапным выбросам угля и газа являются Центральный и Донецко-Макеевский геолого-промышленные районы. В связи с этим **целью данной работы** является выяснение особенностей проявления выбросоопасности угольных пластов в Центральном геолого-промышленном районе Донбасса.

По данным работы [2] был выполнен статистический анализ внезапных выбросов угля и газа, произошедших в Центральном районе Донбасса за период 1946 – 2006 гг. Всего было проанализировано 898 внезапных выбросов, из них: а) на северном крыле Главной антиклинали было зафиксировано 198 выбросов; б) на южном крыле Главной антиклинали было зарегистрировано 700 выбросов угля и газа.

Результаты анализа внезапных выбросов угля и газа, произошедших на южном крыле Главной антиклинали, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Статистика внезапных выбросов угля и газа, произошедших на южном крыле Главной антиклинали

№№ шахт	Шахта	N _{выб} , ед	V ^{daf} , %	S _м = 100– V ^{daf} , %
1	им. Ф. Э. Дзержинского	24	32	68
2	Новая	1	26	74
3	Новая Валюга	2	41	59
4	им. Артема	21	31	69
5	Южная	1	27	73
6	им. Ю. А. Гагарина	8	31	69
7	Комсомолец	30	31	69
8	им. В. И. Ленина	16	30	70
9	Кочегарка	33	30	70
10	им. А. И. Гаевского	66	28	72
11	им. Карла Маркса	80	19	81
12	Красный Профинтерн	106	19	81
13	Красный Октябрь	154	16	84
14	Юный Коммунар	158	13	87

Показатель степени метаморфизма углей рассчитывался по формуле:

$$S_m = 100 - V^{daf}, \% \quad (1)$$

На основании данных таблицы 1 был построен график изменения количества внезапных выбросов угля и газа – N_{выб} и весового выхода летучих веществ – V^{daf}, % на шахтах южного крыла Главной антиклинали Центрального района. Следует отметить, что по каждой шахте рассчитывались средние арифметические значения по показателю – V^{daf}, %.

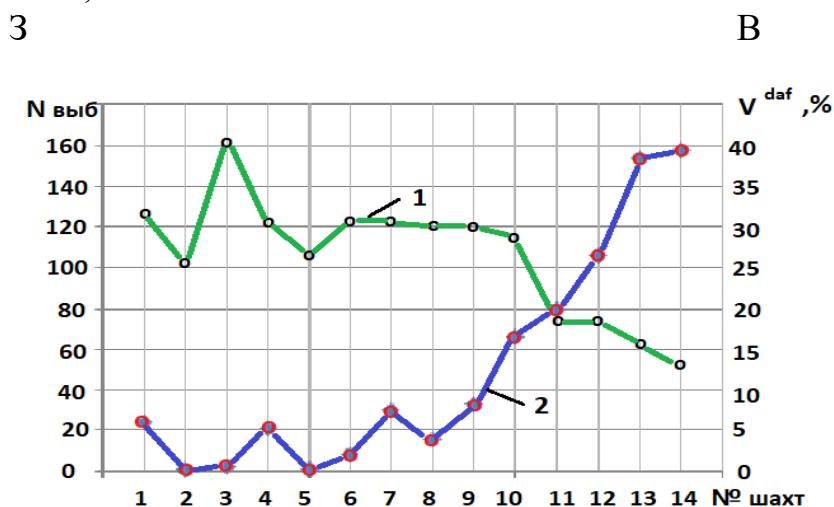


Рисунок 1– График изменения весового выхода летучих веществ- 1

и количества внезапных выбросов угля и газа – 2 на шахтах южного крыла Главной антиклинали

Из рисунка 1 следует, что с уменьшением значений V^{daf} , т. е. с ростом степени метаморфизма углей с запада на восток растет количество внезапных выбросов угля и газа.

График изменения количества внезапных выбросов угля и газа – $N_{выб.}$ в зависимости от степени метаморфизма углей- S_m может быть представлен прямой линией (рисунок 2).

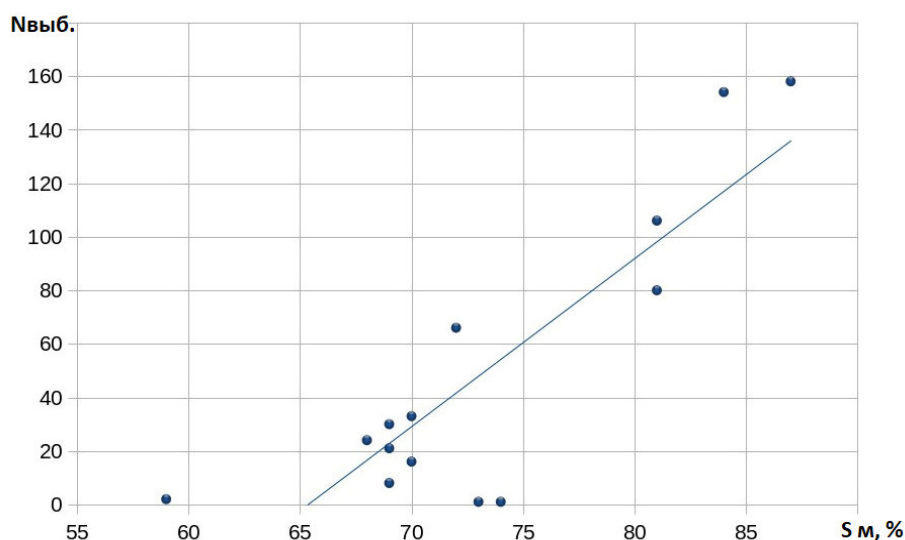


Рисунок 2– График изменения количества внезапных выбросов угля и газа – $N_{выб.}$ в зависимости от степени метаморфизма углей- S_m

Из рисунка 2 следует, что изменения количества внезапных выбросов угля и газа – $N_{выб.}$ в зависимости от степени метаморфизма углей- S_m может быть представлено прямой, уравнение которой имеет вид:

$$N_{выб.} = 6,27 S_m - 409,80 \quad (2)$$

В данном случае коэффициент детерминации составил $R^2 = 0,74$.

Более точно изменение количества внезапных выбросов угля и газа – $N_{выб.}$ в зависимости от степени метаморфизма углей- S_m может быть представлено полиномом второй степени, линия тренда описывается следующим уравнением:

$$N_{выб.} = 0,28 S_m^2 - 34,66 S_m + 1094,34 \quad (3)$$

Коэффициент детерминации при этом составил $R^2 = 0,85$ (рисунок 3).

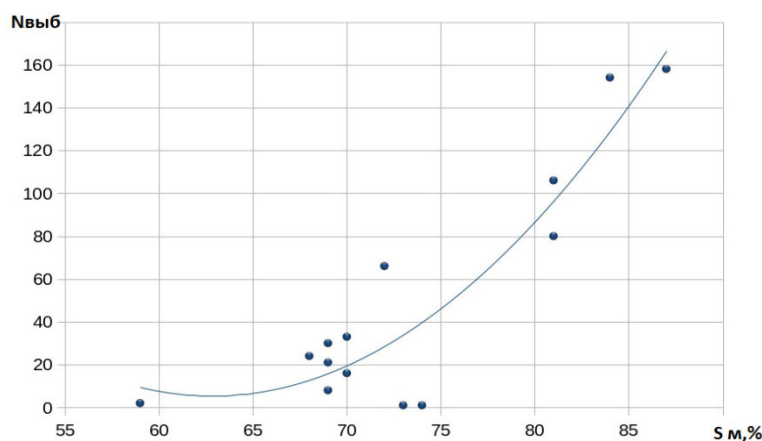


Рисунок 3– График изменения количества внезапных выбросов угля и газа – $N_{\text{выб}}$, представленный полиномом второй степени

Анализ данных работы [3] показал, что по площади Главной антиклинали по направлению с запада на восток возрастает степень метаморфизма углей; в этом же направлении возрастает и число внезапных выбросов угля и газа (таблица 1). Этот факт можно убедительно объяснить с позиций основных положений ранее разработанной физико-химической модели формирования и проявления внезапных выбросов угля и газа [4]. Согласно указанной модели степень метаморфизма углей определяет основные физико-механические и газокинетические свойства углей, которые непосредственно влияют на проявление выбросоопасности угольных пластов.

Так из таблицы 1 следует, что показатель весового выхода летучих веществ на указанных 14 шахтах южного крыла Главной антиклинали изменяется в пределах $V^{\text{daf}} = 41\text{--}13\%$. В этом же диапазоне изменения показателя V^{daf} происходит рост природной газоносности углей – $X_{\text{пр}}$ (рисунок 4).

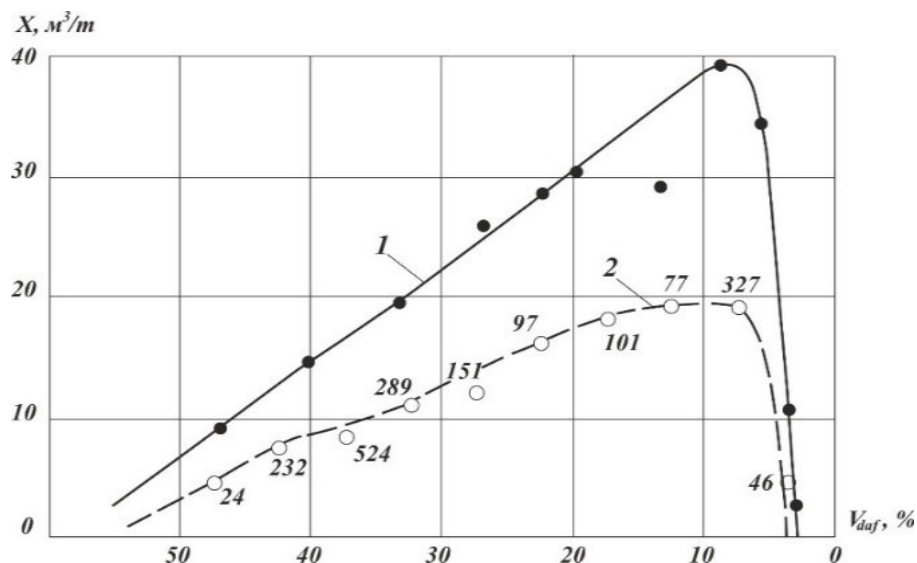


Рисунок 4 – Кривые метаноносности углей юго-западной части Донбасса по данным [5]: 1 – кривая максимальной метаноносности; 2 – кривая средней метаноносности (цифрами указано количество определений)

Выполненный анализ показал, что в условиях южного крыла Главной антиклинали Центрального района Донбасса в восточном направлении наблюдается рост степени метаморфизма углей, природной газоносности, что является причиной роста фактической выбросоопасности угольных пластов.

Выводы.

1. Для условий южного крыла Главной антиклинали Центрального района Донбасса по направлению с запада на восток наблюдаются следующие особенности: а) возрастает степень метаморфизма углей; б) возрастает природная газоносность углей; в) происходит рост числа внезапных выбросов угля и газа.

2. Для условий южного крыла Главной антиклинали Центрального района Донбасса установлена тесная корреляционная зависимость между ростом числа внезапных выбросов угля и газа и ростом степени метаморфизма углей.

3. Полученные факты полностью соответствуют основным положениям ранее разработанной физико-химической модели формирования и проявления внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса.

Перечень ссылок.

1. Минеев, С. П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография] / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. – 603с.

2. Волошин, Н. Е. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906 – 2007 гг.: справочник / Н. Е. Волошин, Л. А. Вайнштейн, А. М. Брюханов и др. // Донецк: СПД Дмитренко, 2008. – 920 с.

3. Анциферов, А. В. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины / А. В. Анциферов, А. А. Голубев, В. А. Канин и др. – Донецк: Вебер, 2009. – Т. 1. - 456 с.

4. Радченко, А. Г. Совершенствование методологии исследования формирования и проявления внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса / А. Г. Радченко, С. Г. Салий, А. А. Радченко // Труды РАНИМИ: сб. науч. тр. – Донецк, 2025. – № 8 (46). – С.380–395.

5. Косенко, Б. М. Изменение содержания метана и высших углеводородов в каменных углях и антрацитах Донбасса / Б. М. Косенко // Геология угольных месторождений. М., 1969. – Т.1. С. 129 – 135.

УДК 622.831.322:63

**МИНИМАЛЬНЫЕ ГЛУБИНЫ ПРОЯВЛЕНИЯ
ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА НА ШАХТАХ Г.
ДОНЕЦКА И
ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА ДОНБАССА**

А. Г. Радченко ¹, С. Г. Салий ¹, Н. С. Федосова ¹, А. А. Радченко ²

1–Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, ул. Челюскинцев, д. 291, г.

Донецк, 283004, ДНР

2– ООО «Дока», переулочек Новотрубный, д. 1, г. Таганрог, РФ

Аннотация. В статье рассмотрены результаты статистического анализа минимальной глубины проявления внезапных выбросов угля и газа, произошедших на шахтах г. Донецка и Центрального района Донбасса.

Annotation. The article discusses the results of a statistical analysis of the minimum depth of sudden coal and gas emissions at mines in Donetsk and the Central District of Donbas.

Ключевые слова: внезапные выбросы угля и газа, Главная антиклиналь, южное крыло, статистический анализ, коэффициент корреляции, коэффициент детерминации, степень метаморфизма углей

Keywords: sudden coal and gas emissions, Main Anticline, southern wing, statistical analysis, correlation coefficient, determination coefficient, degree of coal metamorphism

В практике ведения горных работ весьма важное значение имеет знание величины минимальной глубины проявления внезапных выбросов угля и газа - $H_{\text{мин}}$ в различных горно-геологических условиях. Обзор литературы [1] показал, что наиболее тектонически нарушенными и опасными по внезапным выбросам угля и газа являются Донецко-Макеевский и Центральный геолого-промышленные районы Донбасса.

Поэтому целью настоящей работы является выяснение особенностей изменения величин $H_{\text{мин}}$ в условиях Донецко-Макеевского и Центрального районов Донбасса. В связи с этим по данным работы [2] был выполнен статистический анализ внезапных выбросов угля и газа, произошедших в условиях Донецко-Макеевского и Центрального районов Донбасса. В Донецко-Макеевском районе

произошло 920 внезапных выбросов угля и газа, из них: а) на шахтах г. Донецка-847 выбросов; б) на шахтах г. Макеевки-73 выброса. Поэтому анализ данных в дальнейшем выполнялся по более представительной выборке, т. е. по шахтам г. Донецка.

В Центральном районе Донбасса за период 1946 –2006 гг. всего было проанализировано 898 внезапных выбросов, из них: а) на северном крыле Главной антиклинали было зафиксировано 198 выбросов; б) а на южном крыле Главной антиклинали было зарегистрировано 700 выбросов угля и газа. В связи с этим в дальнейшем анализ данных выполнялся по более представительной статистической выборке, т. е. по шахтам, расположенным в южном крыле Главной антиклинали.

Следует отметить, что показатель степени метаморфизма углей рассчитывался по формуле:

$$S_M = 100 - V^{daf}, \% \quad (1)$$

Где V^{daf} – весовой выход летучих веществ в углях, %.

На рисунке 1 показан график изменения величин $H_{мин}$ для условий шахт г. Донецка для пластов h_6^1 ; h_7 ; h_8 ; h_{10} свиты C_2^3 .

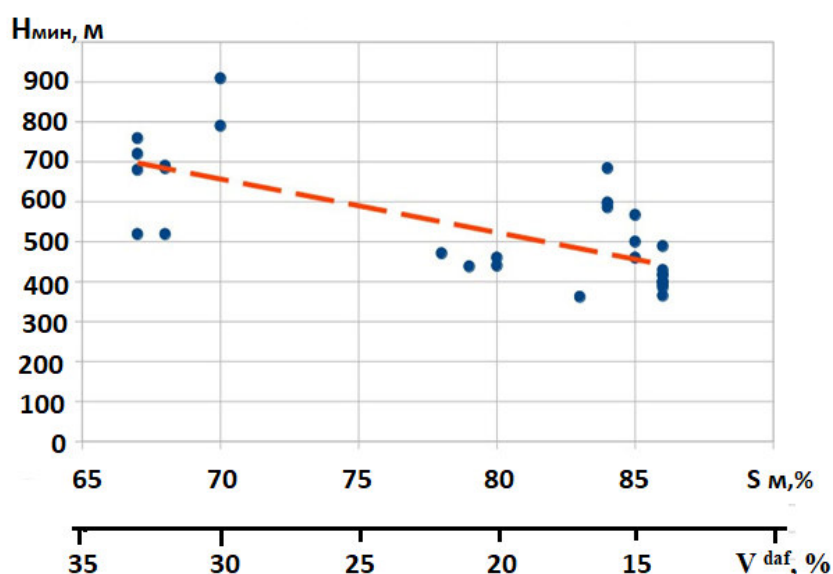


Рисунок 1– График изменения $H_{мин}$ для шахт г. Донецка по свите C_2^3

Количество данных в выборке составило $n=33$. График изменения $H_{мин}$ описывается уравнением прямой линии:

$$H_{мин} = - 13,39 S_M + 1594,21 \quad (2)$$

Коэффициент детерминации при этом составил: $R^2 = 0,52$.

Из рисунка 1 и уравнения 2 следует, что с ростом степени метаморфизма углей - S_m уменьшаются значения $H_{мин}$.

Далее в условиях Центрального района в южном крыле Главной антиклинали был выполнен анализ изменения величин $H_{мин}$ с ростом глубины залегания пластов по свитам C_2^7 ; C_2^6 и C_2^5 .

По свите C_2^7 анализировались данные по пластам m_2 ; m_3 ; m_4^3 ; m_4^4 . Количество данных в выборке составило $n=32$.

По свите C_2^6 анализировались данные по пластам ℓ_1 ; ℓ_2^1 ; ℓ_3 ; ℓ_4 ; ℓ_4^H ; ℓ_6 ; ℓ_7 ; ℓ_7^1 ; ℓ_7^H . Количество данных в выборке составило $n=33$.

По свите C_2^5 анализировались данные по пластам k_1 ; k_2^2 ; k_3 ; k_3^B ; k_4 ; k_4^1 ; k_5 ; k_5^1 ; k_7 ; k_7^{1H} ; k_7^4 ; k_7^{BH} ; k_8 . Количество данных в выборке составило $n=33$.

На рисунке 2 показан график изменения $H_{мин}$ в Центральном районе, в южном крыле Главной антиклинали по свите C_2^7 :

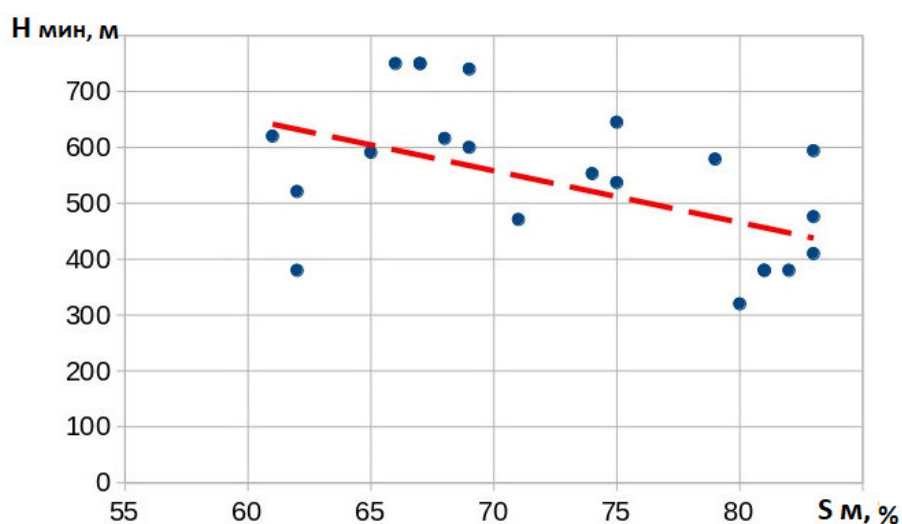


Рисунок 2 – График изменения $H_{мин}$ в южном крыле Главной антиклинали по свите C_2^7

График изменения $H_{мин}$ описывается уравнением прямой линии:

$$H_{мин} = -9,25 S_m + 1205,87 \quad (3)$$

Коэффициент детерминации составил: $R^2 = 0,29$.

В свите C_2^7 тектонические процессы и значительная вариация величин газового выветривания в углепородном массиве обуславливают низкие значения коэффициента детерминации $R^2 = 0,29$.

На рисунке 3 показан график изменения величин $H_{\text{мин}}$ в Центральном районе, в южном крыле Главной антиклинали по свите C_2^6 .

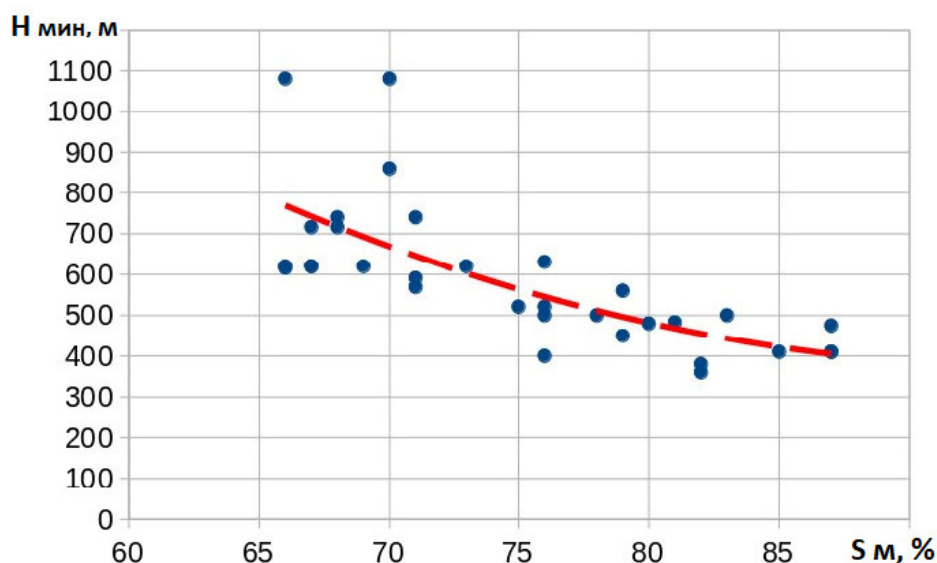


Рисунок 3 – График изменения величин $H_{\text{мин}}$ в южном крыле Главной

антиклинали по свите C_2^6

График кривой $H_{\text{мин}}$ по свите C_2^6 хорошо описывается полиномом второй степени:

$$H_{\text{мин}} = 0,46 S_m^2 - 87,11 S_m + 4531,73 \quad (4)$$

Коэффициент детерминации в данном случае составил: $R^2 = 0,51$.

По свите C_2^6 наблюдается более тесная статистическая связь между показателями $H_{\text{мин}}$ и S_m ; при этом $R^2 = 0,51$. С ростом глубины влияние процессов дегазации на углепородный массив ослабевает.

На рисунке 4 показан график изменения величин $H_{\text{мин}}$ в Центральном районе, в южном крыле Главной антиклинали по свите C_2^5 .

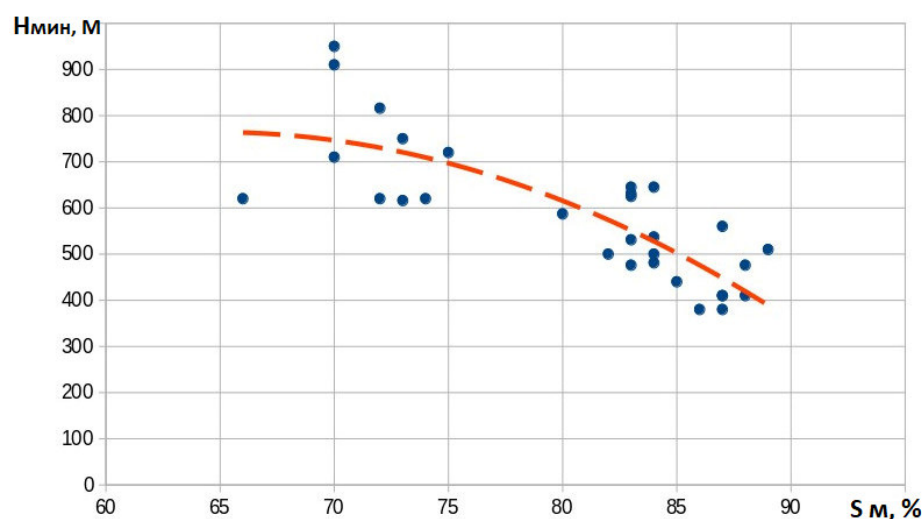


Рисунок 4— График изменения величин $H_{\text{мин}}$ в южном крыле Главной

антиклинали по свите C_2^5

График кривой изменения $H_{\text{мин}}$ в свите C_2^5 описывается полиномом второй степени:

$$H_{\text{мин}} = -0,63 S_{\text{м}}^2 + 82,12 S_{\text{м}} - 1891,45 \quad (5)$$

Коэффициент детерминации составил: $R^2 = 0,66$. Таким образом, с ростом глубины в более возрастных, в более метаморфизованных углях в свите C_2^5 наблюдается увеличение, рост тесноты статистической связи между показателями $H_{\text{мин}}$ и $S_{\text{м}}$; при этом $R^2 = 0,66$.

Анализ данных работы [3] показал, что в условиях южного крыла Главной антиклинали Центрального района Донбасса с запада на восток наблюдается рост степени метаморфизма углей, природной газоносности, это является причиной роста фактической выбросоопасности угольных пластов в восточном направлении.

Выводы.

Для условий шахт, расположенных на территории г. Донецка (свита C_2^3), и шахт, расположенных в южном крыле Главной антиклинали Центрального района Донбасса (свиты C_2^7 , C_2^6 , C_2^5), установлены следующие особенности:

а) с ростом степени метаморфизма по площадям в восточном направлении возрастает степень метаморфизма углей - $S_{\text{м}}$ и уменьшаются значения минимальной глубины проявления внезапных выбросов угля и газа - $H_{\text{мин}}$;

б) с ростом глубины залегания свит пластов по направлению $C_2^7 \rightarrow C_2^6 \rightarrow C_2^5$ на шахтах, расположенных в южном крыле Главной антиклинали, влияние тектоники и процессов дегазации углепородного массива ослабевает. В связи с этим теснота статистической связи между показателями $H_{\min}$ и S_m от свиты C_2^6 к свите C_2^5 возрастает.

Перечень ссылок

1. Минеев, С. П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография] / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. – 603с.
2. Волошин, Н. Е. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906 – 2007 гг.: справочник / Н. Е. Волошин, Л. А. Вайнштейн, А. М. Брюханов и др. // Донецк: СПД Дмитренко, 2008. – 920 с.
3. Анциферов, А. В. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины / А. В. Анциферов, А. А. Голубев, В. А. Канин и др. – Донецк: Вебер, 2009. – Т. 1. - 456 с.

УДК 622.831. 322:63

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЯ
ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ
В ЦЕНТРАЛЬНОМ РАЙОНЕ ДОНБАССА**

А. Г. Радченко ¹, С. Г. Салий ¹, Н.С. Федосова ¹, А. А. Радченко ²

1–Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, ул. Челюскинцев, д. 291, г.

Донецк, 283004, ДНР

2– ООО «Дока», переулок Новотрубный, д. 1, г. Таганрог, РФ

Аннотация: В статье рассмотрены результаты статистического анализа внезапных выбросов угля и газа, произошедших на шахтах Центрального геолого-промышленного района Донбасса.

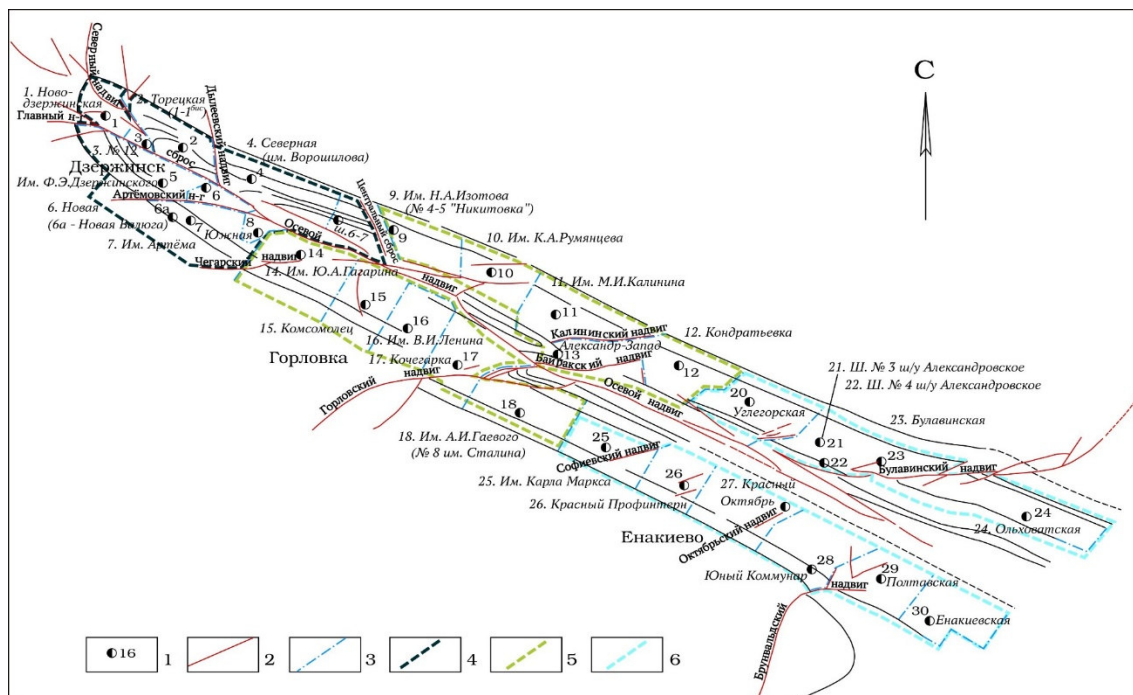
Annotation. Abstract: The article discusses the results of a statistical analysis of sudden coal and gas emissions at mines in the Central Geological and Industrial Region of Donbas.

Ключевые слова: внезапные выбросы угля и газа, Главная антиклиналь, северное крыло, южное крыло, статистический анализ, тектонические нарушения

Keywords: sudden coal and gas emissions, Main Anticline, northern wing, southern wing, statistical analysis, tectonic disturbances

Опыт ведения горных работ в Донбассе [1] и обзор литературы показали, что наиболее тектонически нарушенными и опасными по внезапным выбросам угля и газа являются Центральный и Донецко-Макеевский геолого-промышленные районы. **Целью данной работы** является выполнение статистического анализа внезапных выбросов угля и газа, которые были зафиксированы в Центральном районе Донбасса.

Исходные данные о внезапных выбросах угля и газа были взяты из работы [2]. Схема расположения шахтных полей Центрального района Донбасса с нанесенными основными тектоническими нарушениями приведена на рисунке 1.



- 1 - шахтные стволы и их номера; 2 - разрывные нарушения; 3 - границы шахтных полей;
4 - границы ПО «Дзержинскуголь»;
5 - границы ПО «Артемуголь»; 6 - границы ПО «Орджоникидзеуголь»

Рисунок 1 - Схема расположения шахтных полей Центрального района Донбасса

Таблица 1– Результаты статистического анализа по Центральному району Донбасса

№№ шахт	Северное крыло	Нв, ед	№№ шахт	Южное крыло	Нв, ед
	Дзержинскуголь			Дзержинскуголь	
1	Новодзержинская (№ 11-12)	—	5	Им. Ф.Э. Дзержинского	24
2	Торецкая (1-1 бис)	—	6	Новая	1
			6 - а	Новая Валюга	2
			7	Им. Артема	21
4	Северная (им. К. Е. Ворошилова)	9	8	Южная (Чигари)	1
	Всего:	9		Всего:	49
	Артемуголь			Артемуголь	
9	им. Изотова (4-5 Никитовка)	11	14	Им. Ю.А. Гагарина	8

Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве

10	им. К. Я. Румянцева	33	15	Комсомолец	30
11	им. М. И. Калинина	37	16	им. В. И. Ленина	16
12	Кондратьевка	25	17	Кочегарка	33
13	Александр-Запад	–	18	им. А. И. Гаевского (№ 8 им. Сталина)	66
	Всего:	106		Всего:	153
	Орджоникидзеуголь			Орджоникидзеуголь	
20	Углегорская (Хацапетовка-Западная)	26	25	им. Карла Маркса	80
21	№ 3 ш/у Александровское	33	26	Красный Профинтерн	106
22	№ 4 ш/у Александровское	4	27	Красный Октябрь	154
23	Булавинская	13	28	Юный Коммунар	158
24	Ольховатская	7	29	Полтавская	–
	Всего:	83	30	Енакиевская	–
	По крылу:	198		Всего:	498
		8		По крылу:	700

В таблице 1 приведены основные результаты выполненного статисти-ческого анализа внезапных выбросов угля и газа, произошедших на шахтах

Центрального района Донбасса. Всего было проанализировано 898 внезапных выбросов угля и газа.

Из рисунка 1 следует, что Осевой надвиг и ряд других геологических нарушений делят Главную антиклиналь на два самостоятельных тектонических блока: северное и южное крылья: а) на шахтах северного крыла Главной антиклинали произошло 198 внезапных выбросов угля и газа; б) на шахтах южного крыла Главной антиклинали проанализировано 700 внезапных выбросов угля и газа. В условиях ПО «Дзержинскуголь» произошло 58 внезапных выбросов, в условиях ПО «Артемуголь» отмечено 259 выбросов, а в условиях ПО «Орджоникидзеуголь» зафиксирован 581 выброс. Территориально по площадям наибольшее количество выбросов было зафиксировано на южном крыле Главной антиклинали в условиях шахт ПО «Орджоникидзеуголь» – $N_{\text{выб}} = 498$.

Анализ данных работ [3, 4] показал, что по площади Главной антиклинали по направлению с запада на восток возрастает степень метаморфизма углей; в этом же направлении возрастает и число внезапных выбросов угля и газа (таблица 1). Этот факт можно убедительно объяснить с позиций основных положений ранее

разработанной физико-химической модели формирования и проявления внезапных выбросов угля и газа [5].

Основные положения физико-химической модели сводятся к следующему. Превращения и преобразования, происходящие в молекулярной и над-молекулярной организации угольного вещества в ряду метаморфизма, вызывают изменения структурно-химических свойств углей, которые в свою очередь приводят к изменению степени метаморфизма углей и к появлению углей различного марочного состава. Степень метаморфизма углей определяет их основные физико-механические и газокинетические свойства, которые непосредственно влияют на проявление выбросоопасности угольных пластов.

Выполненный анализ показал, что в условиях южного крыла Главной антиклинали Центрального района Донбасса в восточном направлении наблюдается рост степени метаморфизма углей, их природной газоносности и фактической выбросоопасности.

Выводы.

1. Для условий южного крыла Главной антиклинали Центрального района Донбасса по направлению с запада на восток наблюдаются следующие особенности: а) возрастает степень метаморфизма углей; б) возрастает природная газоносность углей; в) происходит рост числа внезапных выбросов угля и газа.

2. Установленные факты полностью соответствуют основным положениям ранее разработанной физико-химической модели формирования и проявления внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса.

Перечень ссылок

1. Минеев, С. П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография] / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. – 603с.

2. Волошин, Н. Е. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906 – 2007 гг.: справочник / Н. Е. Волошин, Л. А. Вайнштейн, А. М. Брюханов и др. // Донецк: СПД Дмитренко, 2008. – 920 с.

3. Анциферов, А. В. Газоносность угольных месторождений Донбасса / А. В. Анциферов, М. Г. Тиркель, М. Т. Хохлов, В. А. Привалов, А. А. Голубев, А. А. Майборода, В. А. Анциферов. – Киев: Наукова думка, 2004. – 231 с.

4. Анциферов, А. В. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины / А. В. Анциферов, А. А. Голубев, В. А. Канин и др. – Донецк: Вебер, 2009. – Т. 1. - 456 с.

5. Радченко, А. Г. Совершенствование методологии исследования формирования и проявления внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса / А. Г. Радченко, С. Г. Салий, А. А. Радченко // Труды РАНМИИ: сб. науч. тр. – Донецк, 2025. – № 8 (46). – С.380–395.

УДК 622.831.322:63

ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА В ЦЕНТРАЛЬНОМ РАЙОНЕ ДОНБАССА

А. Г. Радченко¹, С. Г. Салий¹, Е. А. Ялпуга¹, А. А. Радченко²

1–Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, ул. Челюскинцев, д. 291, г.

Донецк, 283004, ДНР

2– ООО «Дока», переулок Новотрубный, д. 1, г. Таганрог, РФ

Аннотация. В статье рассмотрены результаты статистического анализа изменения числа и интенсивности внезапных выбросов угля и газа на участке южного крыла Главной антиклинали в Центральном районе Донбасса.

Annotation. The article discusses the results of statistical analysis of changes in the number and intensity of sudden coal and gas emissions in the southern wing of the Main Anticline in the Central region of Donbas.

Ключевые слова: внезапные выбросы угля и газа, Главная антиклиналь, южное крыло, статистический анализ, коэффициент детерминации, степень метаморфизма углей

Keywords: sudden coal and gas emissions, Main Anticline, southern wing, statistical analysis, determination coefficient, degree of coal metamorphism

При проектировании и ведении горных работ важное значение имеет знание особенностей изменения числа и интенсивности внезапных выбросов угля и газа в различных горно-геологических условиях по площадям и с ростом глубины. Анализ литературы [1] показал, что наиболее тектонически нарушенными и опасными по внезапным выбросам угля и газа являются Донецко-Макеевский и Центральный геолого-промышленные районы Донбасса.

Поэтому **целью настоящей работы** является выяснение особенностей изменения числа и интенсивности внезапных выбросов угля и газа в Центральном районе Донбасса. Для достижения поставленной задачи по данным работы [2] был выполнен статистический анализ внезапных выбросов угля и газа, произошедших в условиях Центрального района Донбасса. В Центральном районе Донбасса за период 1946 – 2006 гг. всего было проанализировано 898 внезапных выбросов, из них: а) на северном крыле Главной

антиклинали было зафиксировано 198 выбросов; б) а на южном крыле Главной антиклинали было зарегистрировано 700 выбросов угля и газа. В дальнейшем анализ данных выполнялся по более представительной статистической выборке, т. е. по шахтам, расположенным в южном крыле Главной антиклинали.

Результаты статистического анализа приведены в таблицах 1, 2.

Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве

Таблица 1 – Статистические данные по шахтам ПО «Дзержинсуголь » и ПО «Артемуголь»

Шахты	им. Дзержинского			им. Артема			Комсомолец			Кочегарка			им. Гаевого		
Интервалы, м	H _{ср} гор, М	Q _{ср} гор, Т	n _{выб} гор ед	H _{ср} гор, М	Q _{ср} гор, Т	n _{выб} гор ед	H _{ср} гор, М	Q _{ср} гор, Т	n _{выб} гор ед	H _{ср} гор, М	Q _{ср} гор, Т	n _{выб} гор ед	H _{ср} гор, М	Q _{ср} гор, Т	n _{выб} гор ед
301-400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	380	79	2
401-500	—	—	—	—	—	—	500	45	1				—	—	—
501-600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	528	99	40
601-700	616	9	8	623	76	14	624	65	18	620	81	1	634	120	11
H ₁ =301-700 м	616	Q _{уд} = 9,3	8	623	Q _{уд} = 75,7	14	624	Q _{уд} = 52,5	19	620	Q _{уд} = 81,0	1	550	Q _{уд} = 184,9	53
701-800	725	32	11	727	159	3	727	78	5	750	248	18	723	57	5
801-900	816	18	1	860	38	2	845	207	3	867	102	10	867	281	4
901-1000	914	27	3	980	15	1	905	5	1	1080	115	4	—	—	—
1001-1100	1026	115	1	1100	70	1	1070	110	1	—	—	—	—	—	—
H ₂ =701-1100 м	785	Q _{уд} = 35,6	16	854	Q _{уд} = 90,9	7	815	Q _{уд} = 112,7	10	828	Q _{уд} = 185,8	32	826	Q _{уд} = 146,4	9
N _{общ} , ед			24			21			29			33			62
V ^{daf} , %	28			31			34			30			28		
S _м , %	72			69			66			70			72		

Из таблицы 1 следует, что участки каждого шахтного поля по глубине были разбиты на 100-метровые интервалы. В каждом из интервалов рассчитывали средние арифметические значения: H_{ср гор, м} – средняя глубина ведения горных работ на данном интервале-горизонте; Q_{ср гор, т} – средняя интенсивность выброшенного угля на данном интервале-горизонте; n_{выб гор} – число внезапных выбросов на данном интервале-горизонте.

Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве

Таблица 2– Статистические данные по шахтам ПО «Орджоникидзеуголь»

Шахты	им. Карла Маркса			Красный Профинтерн			Красный Октябрь			Юный Коммунар		
Интервалы, м	H _{ср} гор, М	Q _{ср} гор, Т	n _{выб} гор ед	H _{ср} гор, М	Q _{ср} гор, Т	n _{выб} гор ед	H _{ср} гор, М	Q _{ср} гор, Т	n _{выб} гор ед	H _{ср} гор, М	Q _{ср} гор, Т	n _{выб} гор ед
301-400	400	40	1	320	70	1	379	31	71	330	80	3
401-500	500	104	40	481	43	6	449	130	12	467	52	80
501-600	558	32	5	537	76	14	554	94	41	588	103	35
601-700	616	62	9	648	54	25	659	86	18	644	246	9
H ₁ =301-700 м	524	Q _{уд} = 57,5	55	590	Q _{уд} = 66,8	46	470	Q _{уд} = 68,4	142	509	Q _{уд} = 96,7	127
701-800	751	144	5	746	49	40	779	110	11	727	99	29
801-900	867	404	16	868	174	11	—	—	—	833	199	6
901-1000	1000	280	3	975	265	1	—	—	—	936	153	2
1001-1100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ =701-1100 м	854	Q _{уд} = 334	24	778	Q _{уд} = 127,6	52	797	Q _{уд} = 54,8	11	749	Q _{уд} = 161,9	37
N _{общ} , ед			79			98			153			164
V ^{daf} , %	19			18			16			13		
S _м , %	81			82			84			87		

Степень метаморфизма углей - S_м,% рассчитывалась по формуле: $S_m = 100 - V^{daf}, \%$. График изменения числа внезапных выбросов угля и газа N_{общ}, в зависимости от степени метаморфизма углей - S_м, % представлен на рисунке 1.

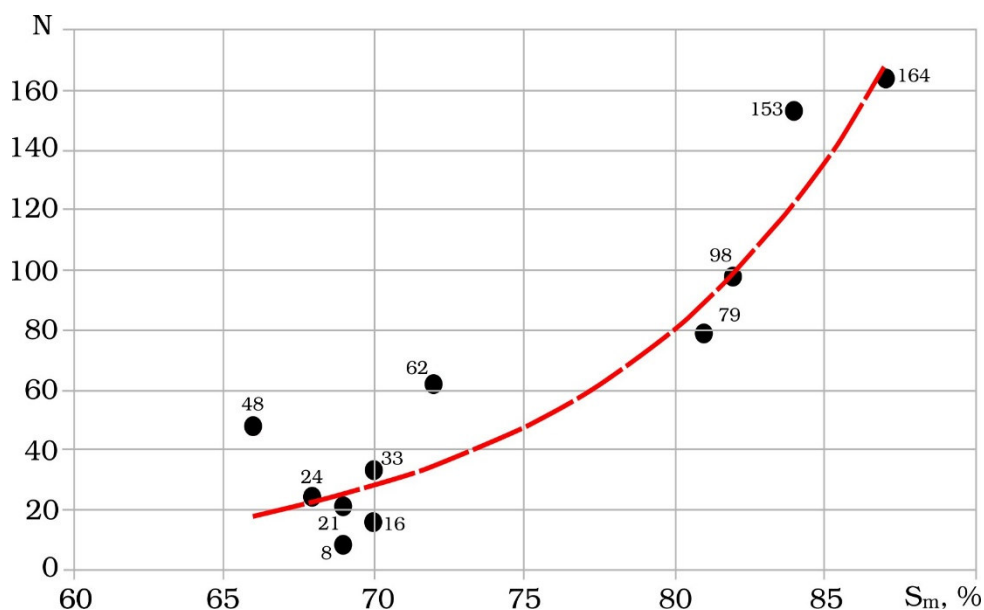


Рисунок 1 – Изменение числа внезапных выбросов угля и газа - $N_{\text{выб}}$ в зависимости от степени метаморфизма углей – $S_m, \%$

Следует отметить, что график изменения числа внезапных выбросов угля и газа - $N_{\text{выб}}$ в зависимости от степени метаморфизма углей - $S_m, \%$ может быть представлен экспонентой (рисунок 1), уравнение которой имеет вид: $N_{\text{выб}} = 0,0095 \exp(0,113 S_m)$. При этом коэффициент детерминации составил $R^2 = 0,76$. График изменения удельной интенсивности внезапных выбросов угля и газа - $Q_{\text{уд}}, \text{т/выб}$ в зависимости от степени метаморфизма углей – $S_m, \%$ для разных диапазонов глубин показан на рисунке 2.

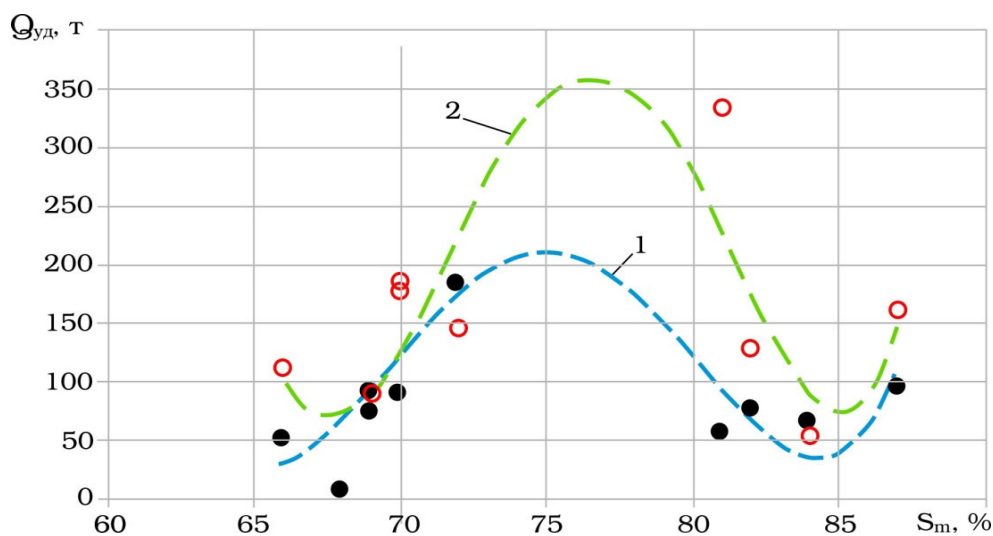


Рисунок 2 – Изменение удельной интенсивности внезапных

выбросов угля и газа - $Q_{уд}$, т/выб в зависимости от степени метаморфизма углей – S_m , %:

1- график изменения показателя $Q_{уд}$ для диапазона глубин $H = 301-700$ м; 2- график изменения показателя $Q_{уд}$ для диапазона глубин $H = 701-1100$ м.

График 1 изменения показателя $Q_{уд}$ для диапазона глубин $H = 301-700$ м может быть описан полиномом 4-й степени:

$$Q_{уд} = 0,023 S_m^4 - 7,022 S_m^3 + 786,524 S_m^2 - 38948,754 S_m + 719571,825.$$

Коэффициент детерминации в данном случае составил: $R^2 = 0,69$.

А график 2 изменения показателя $Q_{уд}$ для диапазона глубин $H = 701-1100$ м может быть описан следующим полиномом 4-й степени:

$$Q_{уд} = 0,055 S_m^4 - 16,98 S_m^3 + 1937,24 S_m^2 - 97809,48 S_m + 1843878,19.$$

При этом коэффициент детерминации составляет $R^2 = 0,55$.

Показатель $Q_{уд}$ по каждой шахте для участков: 1) $H_1=301-700$ м;

2) $H_2=701-1100$ м; рассчитывали по формуле: $Q_{уд} = \sum Q_{уч} / n_{выб\ уч}$.

Из рисунка 2 следует, что с увеличением глубины наблюдается рост удельной интенсивности внезапных выбросов угля и газа - $Q_{уд}$, т/выб., с максимальными значениями в диапазоне $S_m = 73-80$ % или $V^{daf} = 27-20$ %.

В этом диапазоне в углях средней стадии метаморфизма наблюдаются пониженные значения крепости, микротвердости, удельного веса и повышенные значения дробимости и разрушаемости [3]. На неравномерное распределение энергии в углепородном массиве по площадям и по глубине указывают в своих работах Г. Н. Фейт, А. Ф. Булат, В. И. Дырда, Е. Л. Звягильский, В. А. Привалов, Е. А. Панова и другие исследователи. Из таблиц 1 и 2 следует, что изменение показателя $Q_{уд}$ на участках: 1) $H_1=301-700$ м и 2) $H_2=701-1100$ м имеет волнообразный характер.

Выводы.

1. В Центральном районе Донбасса для участка южного крыла Главной антиклинали установлены следующие особенности: а) по площадям с ростом степени метаморфизма углей в восточном направлении наблюдается экспоненциальный рост числа внезапных выбросов угля и газа; б) с ростом глубины наблюдается уменьшение числа внезапных выбросов угля и газа, но при этом растет их удельная интенсивность - $Q_{уд}$, т/выб.

2. Средние арифметические значения интенсивности выброшенного угля на конкретных интервалах-горизонтах - $Q_{ср\ гор}$ изменяются волнообразно как по площади с запада на восток, так и с ростом глубины.

3. По площадям в восточном направлении по мере роста степени метаморфизма углей наблюдается волнообразное изменение удельной интенсивности выбросов - $Q_{уд}$, т/выб

как для первого интервала глубин 1) $H_1=301-700$ м, так и для второго интервала глубин

2) $H_2=701-1100$ м.

Перечень ссылок

1. Минеев, С. П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография] / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. – 603с.

2. Волошин, Н. Е. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906 – 2007 гг.: справочник / Н. Е. Волошин, Л. А. Вайнштейн, А. М. Брюханов и др. // Донецк: СПД Дмитренко, 2008. – 920 с.

УДК 622.831.322:63

**МИНИМАЛЬНЫЕ ГЛУБИНЫ ПРОЯВЛЕНИЯ
ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА НА ШАХТАХ
СЕВЕРНОГО КРЫЛА ГЛАВНОЙ АНТИКЛИНАЛИ ЦРД**

А. Г. Радченко¹, Е. А. Ялпуга¹, А. А. Радченко²

1–Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, ул. Челюскинцев, д. 291, г.

Донецк, 283004, ДНР

2– ООО «Дока», переулок Новотрубный, д. 1, г. Таганрог, РФ

Аннотация. В статье рассмотрены результаты статистического анализа минимальных глубин проявления внезапных выбросов угля и газа, произошедших на шахтах северного крыла Главной антиклинали Центрального района Донбасса.

Annotation. The article discusses the results of a statistical analysis of the minimum depths of sudden coal and gas emissions at mines in the northern wing of the Main Anticline of the Central Donbas region

Ключевые слова: внезапные выбросы угля и газа, Главная антиклиналь, северное крыло, статистический анализ, коэффициент детерминации, степень метаморфизма углей, минимальная глубина выбросов угля и газа

Keywords: sudden coal and gas emissions, Main Anticline, northern wing, statistical analysis, determination coefficient, degree of coal metamorphism, minimum depth of coal and gas emissions

При разработке новых горизонтов в угольных шахтах важное научно-практическое значение имеет знание тенденций и особенностей изменений минимальных глубин проявления внезапных выбросов угля и газа - $H_{\min}$ с

учетом степени метаморфизма углей - S_m , с учетом намечаемых к отработке запасов различного марочного состава. Знание указанных особенностей позволяет своевременно на конкретных глубинах вводить текущий прогноз выбросоопасности угольных пластов и избежать аварийных ситуаций.

Обзор литературы [1] показал, что наиболее тектонически нарушенными и опасными по внезапным выбросам угля и газа являются Донецко-Макеевский район (925 внезапных выбросов) и Центральный геолого-промышленный район Донбасса (898 внезапных выбросов).

Целью настоящей работы является выяснение особенностей изменения величин $H_{\text{мин}}$ в условиях северного крыла Главной антиклинали Центрального района Донбасса – (ЦРД) в зависимости от степени метаморфизма угольных пластов.

По данным работы [2] был выполнен статистический анализ внезапных выбросов угля и газа, произошедших в условиях Центрального района Донбасса за период 1946 –2006 гг. Всего было проанализировано 898 внезапных выбросов, из них: а) на северном крыле Главной антиклинали было зафиксировано 198 выбросов; б) а на южном крыле Главной антиклинали было зарегистрировано 700 выбросов угля и газа.

Внезапные выбросы угля и газа в северном крыле Главной антиклинали были зафиксированы на следующих шахтах: Северная, им. Изотова, им. К. Я. Румянцева, им. М. И. Калинина, Кондратьевка, Углегорская, № 3 ш/у «Александровское», Булавинская, Ольховатская.

Статистический анализ по северному крылу Главной антиклинали выполнялся по наиболее разрабатываемым и статистически представительным свитам: C_2^7 , C_2^6 и C_2^5 .

Следует отметить, что показатель степени метаморфизма углей рассчитывался по формуле:

$$S_m = 100 - V^{\text{daf}}, \% \quad (1)$$

Где V^{daf} – весовой выход летучих веществ в углях, %.

Анализ изменений величин $H_{\text{мин}}$ в зависимости от степени метаморфизма углей- S_m , % по северному крылу Главной антиклинали по свите C_2^7 выполнялся по пластам: m_2 ; m_3 ; m_5 . Количество определений $H_{\text{мин}}$ в статистической выборке по свите C_2^7 составило: $N=30$ (рисунок 1).

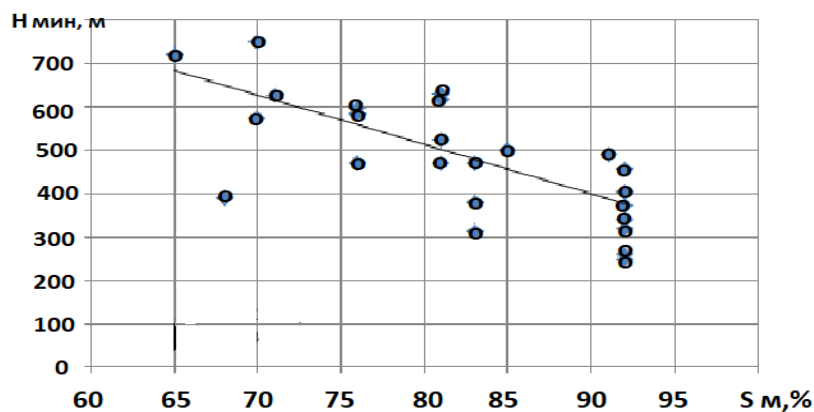


Рисунок 1 – График изменения минимальных глубин проявления

внезапных выбросов угля и газа - $H_{\text{мин}}$ в северном крыле Главной антиклинали ЦРД по свите C_2^7

График изменения минимальных глубин проявления внезапных выбросов угля и газа - $H_{\text{мин}}$ в северном крыле Главной антиклинали ЦРД по свите C_2^7 , по пластам m_2 ; m_3 ; m_5 в зависимости от степени метаморфизма углей- S_m , % может быть выражен уравнением прямой:

$$H_{\text{мин}} = -11,34 S_m + 1419,9. \quad (1)$$

Коэффициент детерминации при этом составил: $R^2 = 0,51$.

Наименьшие значения $H_{\text{мин}}$ были зафиксированы в условиях шахты № 3 ш/у «Александровское», $H_{\text{мин}1} = 252\text{м}$ и $H_{\text{мин}2} = 261\text{м}$.

Далее был выполнен статистический анализ внезапных выбросов, произошедших по свите C_2^6 . Количество определений $H_{\text{мин}}$ в статистической выборке по свите C_2^6 составило: $N = 31$. График изменения минимальных глубин проявления внезапных выбросов угля и газа - $H_{\text{мин}}$ в северном крыле Главной антиклинали ЦРД по свите C_2^6 , по пластам ℓ_3 , ℓ_4^H ; ℓ_5 ; ℓ_6 ; ℓ_7 ; ℓ_7^1 ; ℓ_7^B ; ℓ_7^{1B} ; ℓ_8^1 в зависимости от степени метаморфизма углей - S_m , % может быть выражен уравнением прямой:

$$H_{\text{мин}} = -14,63 S_m + 1776,9 \quad (2)$$

Коэффициент детерминации при этом составил: $R^2 = 0,57$ (рисунок 2).

Наименьшие значения $H_{\text{мин}}$ были зафиксированы в условиях шахты Булавинская, $H_{\text{мин}1} = 260\text{м}$ и $H_{\text{мин}2} = 294\text{м}$

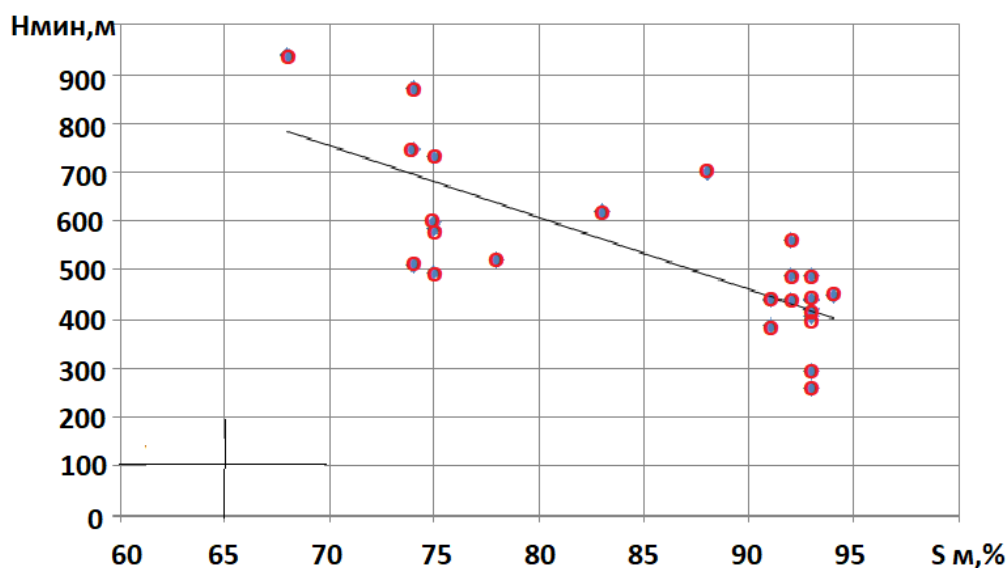


Рисунок 2– График изменения минимальных глубин проявления внезапных выбросов угля и газа - $H_{\min}$ в северном крыле Главной антиклинали ЦРД по свите C_2^6

Затем был выполнен статистический анализ внезапных выбросов, произошедших по свите C_2^5 . Количество определений $H_{\min}$ в статистической выборке по свите C_2^5 составило: $N=41$.

График изменения минимальных глубин проявления внезапных выбросов угля и газа - $H_{\min}$ в северном крыле Главной антиклинали ЦРД по свите C_2^5 , по пластам k_1 ; k_2^2 ; k_3 ; k_3^H ; k_4 ; k_4^1 ; k_4^{1H} ; k_5 ; k_5^2 ; k_7 ; k_7^1 ; k_7^{1B} ; k_7^{1H} ; k_7^{B+H} ; k_8 в зависимости от степени метаморфизма углей - $S_m, \%$ может быть выражен уравнением прямой:

$$H_{\min} = -28,96S_m + 3043,7 \quad (3)$$

Коэффициент детерминации при этом составил: $R^2 = 0,77$ (рисунок 3).

Наименьшие значения $H_{\min}$ были зафиксированы в условиях шахты № 3 ш/у «Александровское» по пласту k_1 : $H_{\min 1} = 190$ м.

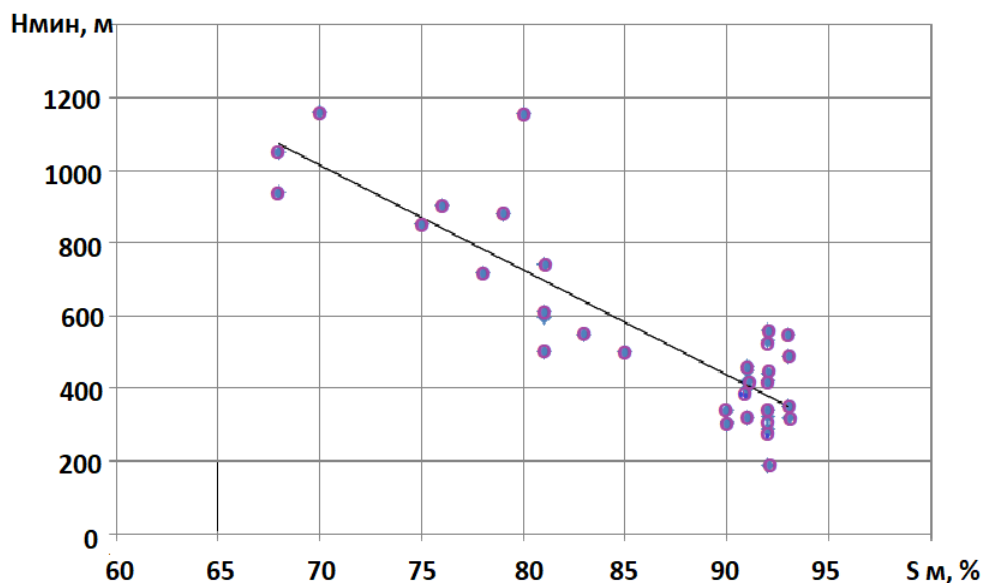


Рисунок 3– График изменения минимальных глубин проявления внезапных выбросов угля и газа - $H_{\min}$ в северном крыле Главной антиклинали ЦРД по свите C_2^5

Из рисунка 3 следует, что по свите C_2^5 с ростом степени метаморфизма углей- S_m , уменьшаются абсолютные значения минимальных глубин проявления внезапных выбросов угля и газа - $H_{\min}$.

Выводы.

Для условий шахт, расположенных в северном крыле Главной антиклинали Центрального района Донбасса, для свит C_2^7 , C_2^6 , C_2^5 установлены следующие тенденции и особенности:

1) по площадям, по направлению с запада на восток по шахтным полям возрастает степень метаморфизма угольных пластов;

2) с ростом глубины залегания угольных пластов от свиты C_2^7 к свите C_2^6 и далее к свите C_2^5 возрастает степень метаморфизма угольных пластов;

3) с ростом степени метаморфизма углей - S_m по площадям в восточном направлении уменьшаются значения минимальных глубин проявления внезапных выбросов угля и газа - $H_{\min}$, при этом:

а) коэффициент детерминации для свиты C_2^7 составил: $R^2 = 0,51$;

б) коэффициент детерминации для свиты C_2^6 составил: $R^2 = 0,57$;

в) коэффициент детерминации для свиты C_2^5 составил: $R^2 = 0,77$.

4) установлено, что с ростом степени метаморфизма угольных пластов по направлению от свиты C_2^7 к свите C_2^6 и далее к свите C_2^5 на шахтах, расположенных в северном крыле Главной антиклинали, влияние тектоники и процессов дегазации угленосного массива ослабевает. В связи с этим теснота статистической связи по направлению от свиты C_2^7 к свите C_2^6 и далее к свите C_2^5 между показателями минимальных глубин проявления внезапных выбросов угля и газа - $H_{\min}$ и степенью метаморфизма углей - S_m возрастает.

Перечень ссылок.

1. Минеев, С. П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография] / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. – 603с.
2. Волошин, Н. Е. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906 – 2007 гг.: справочник / Н. Е. Волошин, Л. А. Вайнштейн, А. М. Брюханов и др. // Донецк: СПД Дмитренко, 2008. – 920 с.
3. Анциферов, А. В. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины / А. В. Анциферов, А. А. Голубев, В. А. Канин и др. – Донецк: Вебер, 2009. – Т. 1. - 456 с.

УДК 69.059: 355.469.34

**О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА
ПРИ ОЦЕНКЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ
ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

И.Р. Саляхов, Д.В. Цой, Д.В. Демидов
ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Екатеринбург, Россия

М.А. Максимчик

ООО «УГМК-ТЕЛЕКОМ»,

г. Верхняя Пышма, Россия

Аннотация. В статье проведен обзор использования различных типов БПЛА и методик сбора исходных данных для оценки потребительских свойств объектов транспортной инфраструктуры.

Annotation. The article provides an overview of the use of various types of UAVs and methods for collecting initial data to assess the consumer properties of transport infrastructure facilities.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, объект транспортной инфраструктуры, потребительские свойства

Keywords: unmanned aerial vehicle, transport infrastructure object, consumer properties

В современном обществе объекты транспортной инфраструктуры (далее – ОТИ) играют ключевую роль в обеспечении транспортного сообщения при перевозке грузов, пассажиров и багажа, поэтому к ним предъявлены требования по обеспечению функциональных, технологических и социально-экономических свойств на протяжении жизненного цикла сооружения.

Так, для автодорожных мостов положениями ГОСТ 33178-2014 установлены следующие потребительские функциональные свойства – пропускная способность, грузоподъемность, безопасность движения (транспортных средств и пешеходов), долговечность и безотказность в чрезвычайных ситуациях [1].

Например, потребительское свойство «безопасность движения» зависит от режима движения транспортных средств (скорость, дистанция, боковой интервал) и ровности поверхности, а «долговечность» – от действия природно-климатических факторов, нагрузок от движения транспортных средств, своевременности и качества проведения работ по обеспечению работоспособного технического состояния мостовых сооружений.

Традиционные методы инспекции при проведении оценки технического состояния ОТИ трудоёмки, часто сопряжены с высокими затратами, риском вреда для жизни и здоровья персонала и ограниченным доступом к труднодоступным участкам, даже с использованием подъемных механизмов и альпинистского снаряжения. Поэтому зачастую они не позволяют обеспечить полноту, достоверность и объективность технического состояния ОТИ.

В настоящее время активно расширяется применение беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА)¹ в том числе, на различных этапах жизненного цикла ОТИ (изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация) [2 – 5].

Например, при мониторинге технического состояния мостовых сооружений применение БПЛА позволяет перейти от реактивного подхода к обслуживанию к проактивному, показывая потенциальные проблемы до того, как они станут критическими, что оптимизирует планирование ремонтных работ.

Выбор типа БПЛА – ключевой фактор для эффективной оценки потребительских свойств ОТИ, поскольку различные задачи требуют соответствующих характеристик БПЛА.

Поэтому каждый тип БПЛА имеет свою область применения, например, при осмотре ОТИ (табл.).

Применение БПЛА в инспекционных работах добавляет еще один уровень правового регулирования, связанный с эксплуатацией БПЛА: получение разрешений на полеты, соблюдение правил воздушного пространства, требования к страхованию и квалификации операторов. Несоблюдение таких правил может повлечь за собой административную и даже уголовную ответственность.

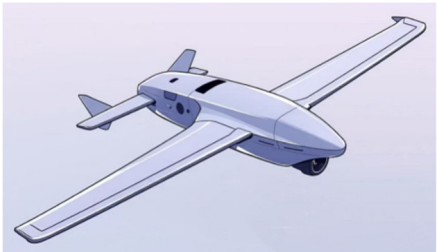
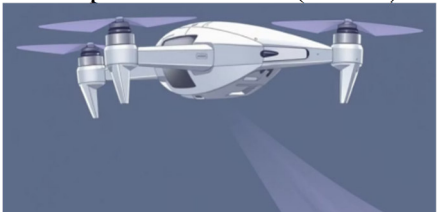
Помимо типа БПЛА, важно учитывать его полезную нагрузку (камеры, LiDAR, тепловизоры), время полета, устойчивость к ветру и погодным условиям, а также наличие систем точного позиционирования (GPS/GLONASS) и предотвращения столкновений. Правильный выбор БПЛА в соответствии с конкретными задачами обследования и условиями окружающей среды обеспечивает получение качественных и надежных данных.

Эффективность проведения работ с помощью БПЛА определяется использованием обоснованной методики сбора исходных данных.

¹ Иное название – «дроны». Название закрепилось в 1930-х годах в Великобритании, когда первые радиоуправляемые самолеты-мишени были созданы на базе учебного биплана De Havilland DH.82B, а одна из таких моделей получила название «Queen Bee» («пчела-матка»). В честь «королевы» управляемые летательные аппараты стали называть «трутнями» («drones»)

Таблица

Характеристика типов БПЛА и их преимущества для осмотра ОТИ

Тип БПЛА и его изображение	Характеристика БПЛА, возможности для осмотра ОТИ
Мультироторные БПЛА 	Наиболее распространены благодаря своей маневренности, способности зависать в воздухе и точному позиционированию. Целесообразны для детального осмотра конкретных участков автомобильных дорог и элементов конструкции мостов (опоры, пролетные строения, деформационные швы и т.д.). Могут нести различное оборудование, включая высокоточные камеры и тепловизоры.
БПЛА самолетного типа 	Имеют большую продолжительность полета и высокую скорость, что делает их подходящими при обследовании протяженных участков автомобильных дорог и значительных по площади территории транспортных развязок для сбора данных о дорожном движении (интенсивность движения, состав потока, дистанция между транспортными средствами). Однако их маневренность ограничена: не могут зависать для детального осмотра.
Гибридные БПЛА (VTOL) 	Сочетают преимущества БПЛА как мультироторных, так и самолетного типа, обеспечивая вертикальный взлет, посадку и длительный горизонтальный полет. Это делает их универсальным решением для различных задач, позволяя выполнять как общие обзоры, так и детальные инспекции (осмотры).

Современные беспилотные системы позволяют интегрировать различные сенсоры.

Фотограмметрия и визуальная инспекция – наиболее распространенный метод. БПЛА, оснащенные высокоразрешающими камерами, выполняют множество снимков объекта с разных ракурсов. Эти изображения затем обрабатываются для создания детальных 2D-ортофотопланов и 3D-моделей ОТИ. Визуальная инспекция позволяет выявлять трещины, сколы, коррозию, деформации, отслоения защитных покрытий и другие видимые дефекты. Современные камеры обеспечивают настолько высокое разрешение, что позволяют обнаруживать дефекты размером в несколько миллиметров.

Тепловизионная съемка позволяет обнаруживать скрытые дефекты,

которые не видны невооруженным глазом. К ним относятся пустоты и расслоения в бетоне, участки с повышенной влажностью, места протечек, а также изменения температурного режима, указывающие на нарушения в конструкции или перераспределение нагрузок. Тепловизионная съемка особенно эффективна для оценки состояния гидроизоляции и поиска дефектов в асфальтобетонном покрытии.

Лазерное сканирование (LiDAR – Light Detection and Ranging) позволяет получать высокоточные трехмерные облака точек, которые точно отображают геометрию ОТИ. Эти данные используются для создания точных цифровых двойников, мониторинга деформаций, измерения прогибов и контроля габаритов. LiDAR целесообразен для выявления значительных деформаций, определения фактического положения элементов конструкции и выявления отклонений от проектных параметров.

Комбинация указанных методик позволяет обеспечить полноту, достоверность и объективность технического состояния ОТИ, выявить как поверхностные, так и скрытые дефекты, а также оценить геометрические параметры конструкции с высокой степенью точности.

Вывод. Применение БПЛА открывает новые возможности для оценки потребительских свойств ОТИ, позволяя не только значительно сократить время и стоимость инспекций, но и повысить точность и полноту получаемой информации, минимизируя при этом риски для вреда для жизни и здоровья персонала.

Перечень ссылок

1. ГОСТ 33178-014. Дороги автомобильные общего пользования. Классификация мостов: Межгосударственный стандарт / Введ. 2015-12-01. М.: Стандартинформ, 2015. II, 21 с.
2. Михеева Т.И., Михеев С.В. Головин О.К. Система формирования полётных планов для беспилотного летательного аппарата // Труды Международной техн. конференции «Перспективные информационные технологии» (ПИТ-2017). Самара: Самарский научный центр РАН, 2017. - С. 669-672. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29194820&ysclid=mnovcieivb952126500>.
3. Печенев Е.В., Кацубо П.А. Применение беспилотных авиационных комплексов при проведении технической разведки мостового перехода // Беспилотные аппараты «БПЛА–2024»: Сборник статей Международного молодёжного форума, Минск, 22–26 апреля 2024 г. Минск: БГТУ, 2024. С. 115–117 // URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/66342?ysclid=mnov905r4b591989691>.
4. Фетисов В.С. Беспилотные авиационные системы. Терминология, классификация, современное состояние. Уфа: Фотон, 2014. 217 с. URL: <https://djvu.online/file/TvTNs8bEfF5NO?ysclid=mnovaadsv8773370515>.
5. Dorafshan S., Maguire M. Bridge inspection: human performance, unmanned aerial systems and automation // Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2018, July. Vol. 8. P. 443-476. URL: https://www.researchgate.net/publication/325272580_Bridge_inspection_human_performance_unmanned_aerial_systems_and_automation.

УДК 622.79(075.8)

ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫЙ СПОСОБ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ (ЭИ)

В.Г. Самойлик, Н.С. Лунев

ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные особенности электроимпульсного способа разрушения материалов. Показан механизм ЭИ-разрушения, представлены различные технические средства реализации ЭИ-процесса*

***Abstract.** This article examines the key features of the electric pulse method for destroying materials. The mechanism of EI destruction is demonstrated, and various technical means for implementing the EI process are presented*

***Ключевые слова:** электроимпульсное разрушение, селективность, дробление, измельчение, фрагментация*

***Keywords:** electric pulse destruction, selectivity, crushing, grinding, fragmentation*

Дробление и измельчение руд и минеральных агрегатов ЭИ-способом отличается высокой селективностью разрушения [1]. Прежде всего эффект избирательности связывают с направленным движением канала разряда в области расположения неоднородностей. Действительно, наличие неоднородностей в диэлектрике, находящемся в электрическом поле, вызывает появление локальных зон повышенных напряжённостей поля, которые определяют траекторию канала разряда.

Особенностью электроимпульсного способа является импульсное приложение напряжения с характерным временем 10^{-6} – 10^{-7} с, которое соизмеримо с процессами поляризации диэлектрика. Разрушение неоднородных твёрдых тел при их электрическом пробое связано с генерированием ударных и акустически волн, которые, распространяясь в неоднородной среде, могут создавать условия, обеспечивающие избирательную направленность разрушения. При этом избирательность разрушения может создаваться за счёт отличия компонентов по прочностным, деформационным и акустическим свойствам. Особенностью этих механизмов является то, что они

работают во всём объёме образца, в то время как траектория канала разряда захватывает только некоторые локальные области.

Механизм ЭИ-разрушения может быть представлен двумя процессами, действующими во времени друг за другом: образование в результате электрического пробоя в поверхностном слое твёрдого тела канала разряда и последующее разрушение твёрдого тела под действием механических напряжений, возникающих в результате расширения канала разряда при выделении в нём энергии ёмкостного накопителя. Первая стадия процесса определяет уровень напряжения, при котором реализуется процесс («рабочее напряжение»), технические параметры потенциального разрушения. Выбором оптимальных параметров импульсного напряжения и условий пробоя (вид среды, геометрия электродной конструкции) достигаются минимальные градиенты напряжения пробоя. На второй стадии процесса за счёт оптимизации преобразования энергии накопителя в работу разрушения достигается минимальная энергоёмкость разрушения материала.

Электроимпульсному пробое и разрушению подвержена преобладающая масса горных пород и руд, за исключением лишь отличающихся сплошной металлической проводимостью (сплошные магнетитовые и полиметаллические руды).

Для оценки области наиболее эффективного применения ЭИ-разрушения большое значение имеет следующее обстоятельство. Горные породы по электрической прочности различаются в меньшей степени, чем по физико-механическим свойствам. Например, кварцит и песчаник по прочности на сжатие отличаются в 7 раз, а по электрической прочности – менее чем в 2 раза. С ростом механической прочности (крепости) пород эффективность ЭИ-разрушения снижается существенно в меньшей степени, чем при разрушении традиционными механическими способами, в результате чего относительная эффективность использования ЭИ-способа в сравнении с механическими способами растёт. Поэтому, хотя ЭИ-способ может быть применён для разрушения материалов любой механической прочности, наибольший технико-экономический эффект его применения достигается на особо крепких горных породах и мёрзлых грунтах [2].

Технические средства ЭИ-процесса представляют собой аппараты, в которых непосредственно реализуется процесс дезинтеграции материала, включая и случаи совмещения в аппарате функций дезинтеграции и первичного обогащения продукта, а также средства транспортировки исходного и готового продукта. В целом же

установки ЭИ-разрушения кроме дезинтеграционной камеры включают источник высоковольтных импульсов (вместе с зарядным устройством), систему управления и защиты электрической сети, вспомогательную технологическую оснастку.

Установка в целом должна отвечать соответствующим технологическим требованиям (производительности, крупности исходного материала и готового продукта, отсутствия загрязнения продукта), обладать высокой эксплуатационной надёжностью, допускающей конечно регламентируемую смену быстро изнашиваемых элементов, быть безопасной в эксплуатации для обслуживающего персонала и электромагнитно совместимой с другой технологической аппаратурой. Принципиальные типы устройств электроимпульсной дезинтеграции представлены на рис. 1.

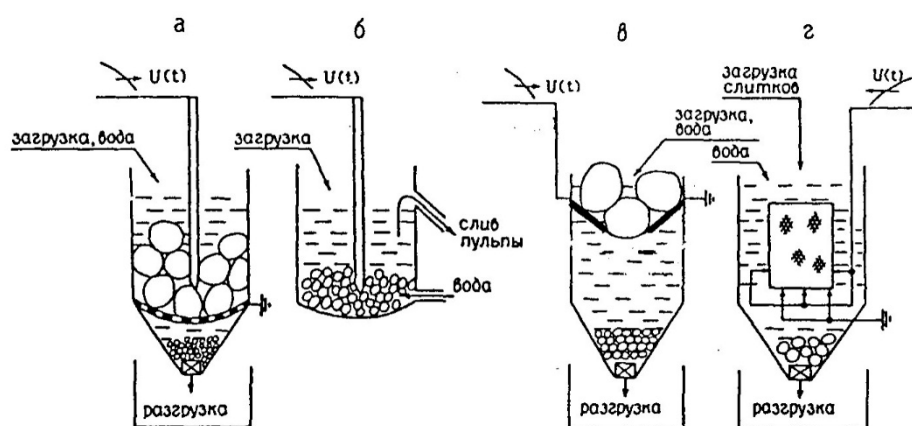


Рис. 1. Принципиальные типы устройств электроимпульсной дезинтеграции [3]

В диапазоне дезинтеграции руды от максимально возможной исходной крупности до конечной выделяется три области, в которых возможно и целесообразно применение ЭИ-разрушения, и соответственно различаются такие стадии процесса дезинтеграции как измельчение, дробление и фрагментация материала.

Ряд физических факторов естественным образом формируют диапазон электроимпульсного измельчения материалов. Эффективность электрического пробоя кусков руды зависит от соотношения между размером куска d и величиной межэлектродного расстояния l , и она максимальна при $d \sim l$. Разрядный промежуток определяет уровень рабочего напряжения (с увеличением разрядного промежутка напряжение пробоя повышается), который из эксплуатационных соображений целесообразно ограничить величиной 300–400 кВ. Из этого следует, что предельно допустимая величина

разрядного промежутка может быть определена в 30–40 мм, а размер исходного материала ограничен величиной $(1,5-2)d/l$, т. е. 60–80 мм. С другой стороны, по физическим причинам внедрение разряда в частицы менее 2 мм становится невозможным. Таким образом, сугубо из учёта физических особенностей процесса электроимпульсного пробоя частиц материала выделен интервал крупности, в пределах которого при приемлемом уровне напряжения может быть обеспечена высокая эффективность электроимпульсного измельчения, а именно от (60–80) до 2 мм.

Оптимальной электродной конструкцией для реализации электроимпульсного измельчения является система электродов типа «стержень – плоскость» как обеспечивающая минимальные пробивные градиенты напряжения. Устройство этого типа состоит из стержневого электрода (одно- или многоострийного, «лапчатого») и заземляемой полусферы с вариантами удаления готового продукта через классифицирующие отверстия в заземляемом электроде (рис. 1, а), выносом продукта восходящим потоком жидкости (рис. 1, б), через щелевой зазор в боковой стенке камеры.

Рациональным вариантом расположения электродов при электроимпульсном дроблении является такое, когда продукт разрушения под действием собственного веса перепускаются через щелевой зазор, образуемый самими электродами в виде классифицирующих ячеек, размер которых определяет верхний предел крупности продукта (рис. 1, в). Общая длина щелевого зазора должна быть такова, чтобы исключить прекращение процесса дробления при неблагоприятном положении какого-либо куса породы в рабочей зоне относительно острий электродов. Практически достаточна длина рабочей зоны, превышающая максимальный размер кусков породы в 3–4 раза. Требованиям по электрической прочности оптимально соответствует конструкция с замкнутым (кольцевым) щелевым зазором.

Электроимпульсная фрагментация предназначены для разрушения специфичных природных, а большей частью искусственных материалов с включениями большеразмерных кристаллов в породной массе (или исходной шихте), отличающейся пониженной в сравнении с кристаллами электрической прочностью, в том числе содержащей воздушные пустоты. Характерным примером такого материала являются блоки искусственной слюды. Разрушение блоков реализуется с помощью многоэлектродных устройств с распределением электродов по значительной части поверхности блока (рис. 1, г). Учитывая размеры блока и отделяемых фрагментов и связанную с этим потребность в

повышенных значениях энергии единичного разряда, допускается возможность увеличения рабочих напряжений до 500–600 кВ, а разрядных промежутков – вплоть до дециметров. При этом максимально используется возможность улучшения условий разрушения за счёт дополнительных свободных поверхностей.

Метод ЭИ-разрушения нашёл своё применение в промышленном производстве, в особенности при дезинтеграции слюдяных руд. Использование ЭИ-разрушения также является эффективным для извлечения драгоценных камней. При ЭИ-раскрытии кристаллосодержащих пород извлечение кристаллов повышается в 1,5–2 раза (в сравнении с тщательной ручной разделкой) с высокой их сохранностью от разрушения.

Выводы. Электроимпульсная дезинтеграция характеризуется высокой селективностью разрушения. По сравнению с традиционными методами дробления и измельчения это позволяет получать конечный продукт с требуемыми параметрами при меньших экономических затратах.

Перечень ссылок

1. Курец, В. И. Селективность электроимпульсной дезинтеграции руд / В. И. Курец, А. Ф. Усов, В. А. Цукерман // Материалы V конгресса обогатителей стран СНГ, 23-25 марта 2005 г. – Т. 3. – С. 292–296.
2. Хопунов, Э. А. Селективное разрушение минерального и техногенного сырья (в обогащении и металлургии) / Э. А. Хопунов. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. – 429 с.
3. Усов, А. Ф. Опыт разработки средств электроимпульсной дезинтеграции материалов / А. Ф. Усов, В. А. Цукерман, В. И. Курец // ГИАБ. – 2011. – № 12. – С. 310–318.

УДК 622.7(075.8)

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ АСБЕСТОВЫХ РУД

В.Г. Самойлик, А.С. Онищенко
ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. Статья содержит общие сведения о хризотил-асбесте, его свойствах и направлениях использования. Рассмотрены особенности технологии обогащения асбеста, представлена технологическая схема обогащения асбестовых руд Баженковского месторождения хризотил-асбеста

Abstract. This article provides general information about chrysotile asbestos, its properties, and applications. It examines the specifics of asbestos beneficiation technology and presents a process flow diagram for beneficiating asbestos ores from the Bazhenov chrysotile asbestos deposit

Ключевые слова: асбест, волокна, дробление, грохочение, пневматическая сепарация

Keywords: asbestos, fibers, crushing, screening, pneumatic separation

Термин «асбест» объединяет различные по своему составу и свойствам минералы: хризотил, крокидолит, амозит, антофиллит, иногда тремолит, актинолит, режикит, родусит и др., обладающие способностью разделяться на тонкие волокна. Последние отличаются весьма высокой прочностью, эластичностью и прядильными свойствами, термостойкостью, низкой электропроводностью, кислото- и щелочестойкостью.

Хризотил (белый асбест) – волокнистая разновидность водного силиката магния – серпентина, состав которого отвечает формуле $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Он слагает жилки в тёмно-зелёных серпентинитах, обнаруживая обычно поперечно-волокнистую структуру (рис. 1). В плотном куске хризотил-асбест обладает зелёной или желтовато-зелёной окраской и перламутровым блеском, но после расщепления (фибризации) на отдельные волокна превращается в белую пухоподобную массу. Хризотил-асбест имеет весьма высокую температуру плавления (1521 °С), приблизительно при 700 °С теряет кристаллизационную воду и становится хрупким. Твёрдость хризотил-асбеста (вдоль волокна) по шкале Мооса – 2–3, плотность – 2,36–2,60 г/см³. В ультрафиолетовых лучах люминесцирует ярко-белым цветом. Иногда обнаруживает магнитность и полярный магнетизм [1].



Рис. 1. Хризотил-асбест

Из всех видов асбеста именно хризотиловый больше всего добывается и пользуется спросом – примерно 95 % получаемого асбеста во всём мире относится именно к этому виду. Самые крупные месторождения находятся в России, по этой причине страна является крупнейшим в мире производителем, который поставляет материалы и в другие страны.

Горную породу, содержащую асбест, добывают открытым способом и подвергают обогащению на асбестовых фабриках для выделения хризотил-асбеста. Товарный хризотил-асбест состоит из смеси волокон различной длины и их агрегатов.

Агрегаты асбеста с недеформированными волокнами размером в поперечнике более 2 мм называют «кусовым асбестом», а менее 2 мм – «иголками». «Распушенным» называют асбест, в котором волокна тонки, деформированы и перепутаны. Частицы сопутствующей породы и асбестовое волокно, прошедшее через сито с размерами стороны ячейки в свету 0,25 мм, называют «пылью».

Более 80 % товарного хризотил-асбеста потребляет асбестоцементная промышленность для производства кровельных плит и волнистых листов, большеразмерных плит, стеновых панелей, труб для водопроводов, канализации и газопроводов, санитарных приборов, электроизоляционных деталей и др. Все эти изделия выгодно отличаются от металлических меньшей массой, кислото- и щелочестойкостью, лёгкостью в обработке, сравнительной дешевизной.

Технологией обогащения асбестовых руд предусматривается предельно возможное сохранение природной длины и физико-механических свойств асбестового волокна при максимальном извлечении асбеста с максимально возможным удалением посторонних включений и обеспыливанием волокна. Требуется получение

однородных товарных групп (сортов) по длине волокна и степени распушки. При обогащении используются такие свойства руды, как относительно низкая прочность связи жил асбеста со вмещающей породой, благодаря чему в процессе стадийного дробления в первую очередь высвобождается длинноволокнистый асбест и по мере снижения крупности из руды высвобождается все более и более короткие волокна. Большая удельная поверхность волокна по сравнению с раздробленной породой позволяет эффективно извлекать волокно воздушным потоком.

Механическое обогащение асбестовой руды ведётся в воздушной среде (сухой способ) или в водной среде (мокрый способ).

Сухой способ предусматривает многократное дробление руды. После каждого цикла дробления следует операция извлечения освободившегося волокна пневматической сепарацией (отсасыванием). «Всплывшее» волокно отсасывают и осаждают в циклоне с последующей очисткой его от пыли и гали.

Мокрое обогащение проводится в водной среде с применением гидроциклонов и концентрационных столов, оборудованных рамами с сетками. При перемешивании частицы вмещающей породы, гали, пыли отделяются от волокна и осаждаются. Волокно уносится водой и отфильтровывается на сетках. После сушки и подпушки его направляют на классификацию. Мокрый способ используется для извлечения ломкого хризотил-асбеста, некоторых видов голубого асбеста.

Технологические процессы действующих асбестообогащительных фабрик, работающих по гравитационному методу, включают следующие основные операции: крупное и среднее дробление, сушку руды, мелкое дробление и извлечение концентратов, перечистку и классификацию асбеста по группам [2].

На рис. 2 представлена технологическая схема обогащения асбестовых руд Баженовского месторождения хризотил-асбеста.

Асбестообогащительная фабрика включает в себя 4 технологических комплекса:

- дробильно-сортировочный (ДСК);
- обогащения,
- пылеулавливания,
- упаковки и отгрузки готовой продукции.

Отдельным сооружением являются бункеры сортированных отходов [3].

Переработка асбестовых руд производится следующим образом.

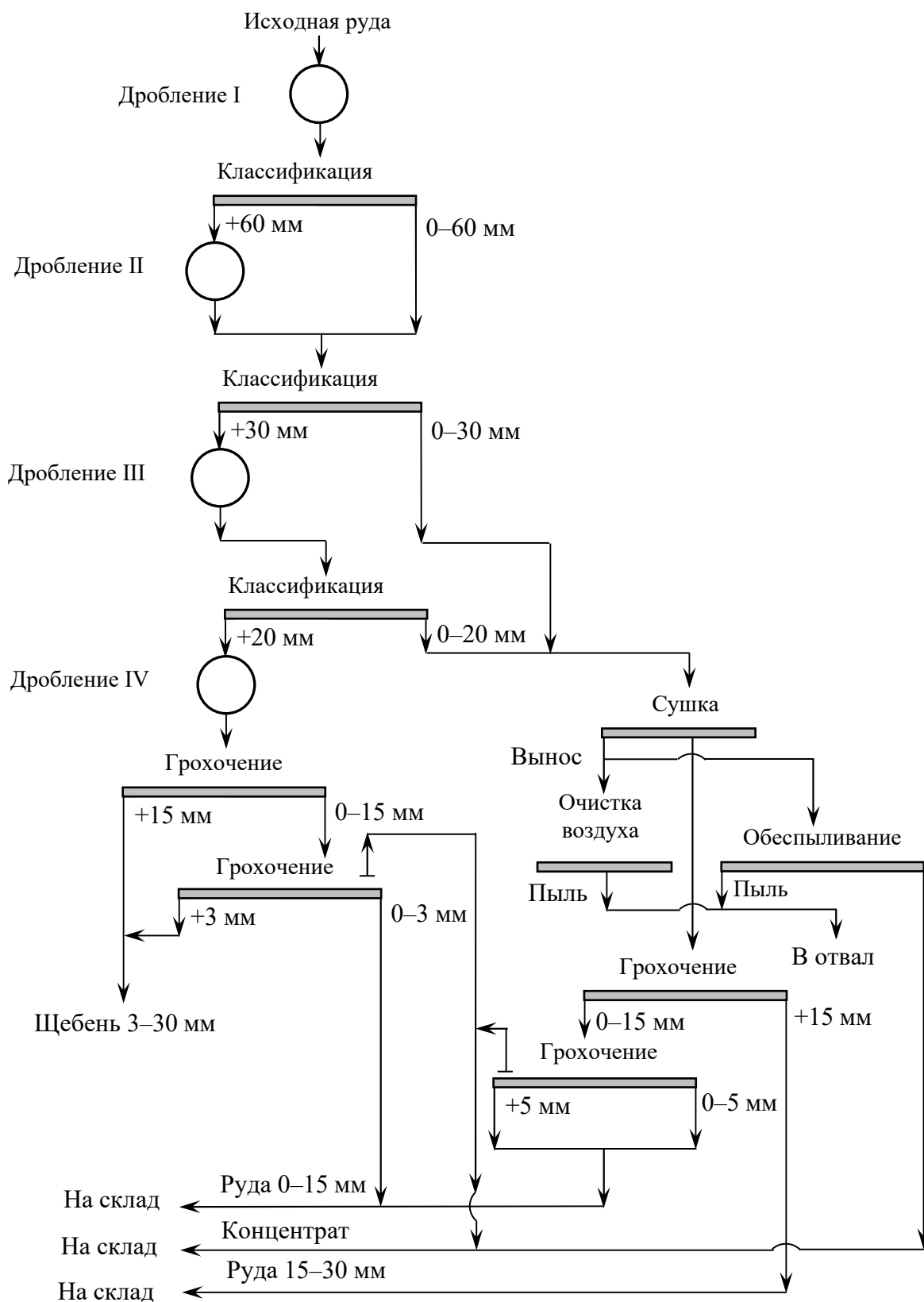


Рис. 2. Технологическая схема ДСК ОФ комбината «Ураласбест»

Руда из карьера подаётся в дробильно-сортировочный комплекс фабрики, где дробится в 4 стадии до крупности 0–20 мм.

Первая стадия дробления осуществляется в щековых или конусных дробилках крупного дробления (ЩКД, ККД). Вторая – в конусных дробилках среднего дробления (КСД). Третья и четвёртая стадии – в конусных дробилках мелкого дробления (КМД).

После каждой стадии дробления руда подвергается грохочению для выделения мелкой фракции и свободного волокна, предотвращающего его переизмельчение. Для предварительной классификации рудной массы используются прутковые грохоты (ПГ) и ГИД-2000. Подрешетный продукт грохочения после второй и третьей стадии дробления, содержащий наибольшее количество влаги, направляется на сушку в шахтных печах. Процесс сушки проводится при температуре газов не более 600 °С. Дроблёная и высушенная руда в ДСК системой конвейеров направляется в склад сухой руды, откуда после некоторой выдержки – в цех обогащения.

В обогатительном комплексе сосредоточено основное производство товарного асбеста. Технологически компоновочно-обогатительный комплекс делится на ряд переделов:

- рудный поток;
- потоки перечистки;
- узел измельчения (обработка промпродуктов);
- участок обработки черновых концентратов;
- участок доработки продуктов, осаждённых в коллекторах рукавных фильтрах (пылеосадительные сооружения);
- узел получения инертных материалов (щебень, крупнозернистая посыпка, песок строительный).

Подготовленная для обогащения в ДСК руда проходит доработку в рудном потоке с целью вскрытия асбестового волокна и извлечения его в черновой концентрат.

Рудный поток представлен операциями дробления (5 стадий), операциями грохочения с «отсасыванием» (извлечением воздушным потоком) вскрытого при дроблении свободного волокна. Первая и вторая стадии вскрытия волокна осуществляются в конусных и вертикально-молотковых дробилках (ВМД). Продукты мелких фракций дорабатываются в распушителях.

Для грохочения с извлечением (отсасыванием) волокна используются грохоты инерционного и кругового движения (ГИД, «Холл»).

Обогащение руды производится пневматическим способом. После каждой стадии дробления руда со «вскрытым» волокном асбеста

поступает на грохоты. При движении грохота «крупное волокно «всплывает» на поверхность рудного слоя, а более мелкое (менее размера ячеек установленного сита) волокно просеивается через ситовую поверхность. На разгрузочном конце грохота установлен воздухоприёмник, с помощью которого и извлекается (отсасывается) находящееся на поверхности рудного слоя волокно. Извлечённое таким образом волокно считается черновым концентратом, т. к. извлечение происходит вместе с мелкими частицами породы, близкими к нему по размеру и скорости витания в воздушной струе.

Таким образом, при обработке асбестосодержащего материала на грохоте с отсасыванием получается несколько продуктов:

- черновой концентрат;
- надрешетный продукт;
- подрешетный продукт.

Черновой концентрат поступает в циклоны-осадители, надрешетный продукт грохота – на следующую стадию дробления.

Подрешетный продукт подвергается дальнейшей обработке по технологической схеме, нижний продукт (класс 0–0,5 мм) в зависимости от качественной характеристики направляется либо на доработку, либо в хвосты. Черновые концентраты, осаждённые в циклонах, подвергаются очистке от породных примесей «гали» и «пыли» в перечистных потоках. Перечистка черновых концентратов осуществляется операциями классификации (на обеспыливателях) и обезгаливания (на грохотах ГИД-1500, ГИД-2000 с отсасыванием волокна пневмосистемами).

В операциях классификации осуществляется разделение асбестового волокна в зависимости от его длины с целью получения групп и марок асбеста согласно действующему стандарту на готовую продукцию.

Для операции классификаций применяются асбестовые обеспыливатели АО-61, барабанные классификаторы БК, грохоты инерционного действия ГИД-1500, ГИД-2000, грохоты кругового движения ГКД («Холл»).

После получения соответствующих марок асбест упаковывается механизированным способом в бумажную или полипропиленовую тару (мешки), и партиями отгружается потребителю. Для упаковки асбеста применяются шнековые упаковочные машины СУМ-3 и пресс-упаковочные машины ПУМ.

Уникальность руд Баженовского месторождения заключается в очень широкой вариативности длины асбестовых волокон: от долей до

нескольких десятков миллиметров, что позволяет получать практически любую марку хризотила.

Кроме хризотила ПАО «Ураласбест» выпускает широкий спектр высокопрочного бутового камня (60–150 мм), кубовидного щебня всех фракций, песчано-щебёночных смесей и фракционированных песков-отсевов из боковых и вмещающих пород.

Выводы. Основной особенностью технологии обогащения асбестовых руд является предельно возможное сохранение природной длины и физико-механических свойств асбестового волокна при максимальном извлечении асбеста с максимально возможным удалением посторонних включений и обеспыливанием волокна. При обогащении используются такие свойства руды, как относительно низкая прочность связи жил асбеста со вмещающей породой, благодаря чему в процессе стадийного дробления в первую очередь высвобождается длинноволокнистый асбест и по мере снижения крупности из руды высвобождается все более и более короткие волокна.

Перечень ссылок

1. Янин, Е. П. Асбест в окружающей среде. (Введение в экологическое асбестоведение). – М. : ИМГРЭ, 1997. – 176 с.
2. Щедринский, М. Б. Обогащение асбестовых руд / М. Б. Щедринский, А. В. Волегов, Э. К. Мюллер. – М. : Гостехиздат, 1962. – 239 с.
3. Бочаров, В. А. Технология обогащения полезных ископаемых: В 2 т. Т. 2: Обогащение золотосодержащих руд и россыпей, обогащение руд черных металлов, обогащение горно-химического и неметаллического сырья. – М. : Издательский дом «Руда и Металлы», 2007. – 408 с.

УДК 622.79(075.8)

ОСОБЕННОСТИ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В ВАЛКОВЫХ ДРОБИЛКАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В.Г. Самойлик, Л.Д. Чалый
ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

***Аннотация.** В статье приведены данные об особенностях дезинтеграции полезных ископаемых валками высокого давления. Описаны конструктивные особенности дробилок и механизм разрушения частиц между валками.*

***Abstract.** This article presents data on the specifics of mineral disintegration using high-pressure rollers. Their design features and the mechanism of particle destruction between the rollers are described.*

***Ключевые слова:** дробление, валки, высокое давление, механизм разрушения, зона сжатия*

***Keywords:** crushing, rolls, high pressure, destruction mechanism, compression zone*

Технология измельчения на валковых прессах при высоком давлении, *HPGR (High-Pressure Grinding Rolls)* получила широкое распространение в конце 20 века в цементной промышленности для измельчения клинкера, известняка, шлака и других, относительно неабразивных материалов. Разработка специальных износостойчивых поверхностей и способов быстрой замены валков дала возможность применения данной технологии при переработке руд чёрных и цветных металлов, золотосодержащих руд и алмазов.

Технология *HPGR* основана на уникальном свойстве быстрого распространения трещин на границах зёрен частиц материала, подвергнутого обработке высоким удельным давлением между вращающимися навстречу друг другу валками, что значительно сокращает энергетические затраты на разрушение частиц материала.

Одним из главных преимуществ этой технологии, в сравнении с обычными методами дробления и измельчения, является значительное уменьшение потребления электроэнергии, кроме того, метод измельчения в валковом прессе является гораздо более производительным и экологически более чистым, чем любой традиционный метод.

Материал, подвергнутый измельчению этим методом, обладает уникальными свойствами для улучшения кинетики реакций при проведении последующих процессов выщелачивания и флотации.

Исключение из процесса измельчения мельниц и, соответственно, размольных тел (стержней и шаров) значительно улучшает экономические показатели и сокращает площади для размещения оборудования. Высокая эксплуатационная готовность оборудования валкового пресса также является преимуществом этого метода.

Валковые дробилки высокого давления, используемые в технологии *HPGR*, часто называют измельчающими валками высокого давления (ИВВД).

Основным рабочим элементом ИВВД является пара встречно вращающихся измельчающих валков (рис. 1). Каждый валок состоит из массивного стального вала и футеровочного бандажа.

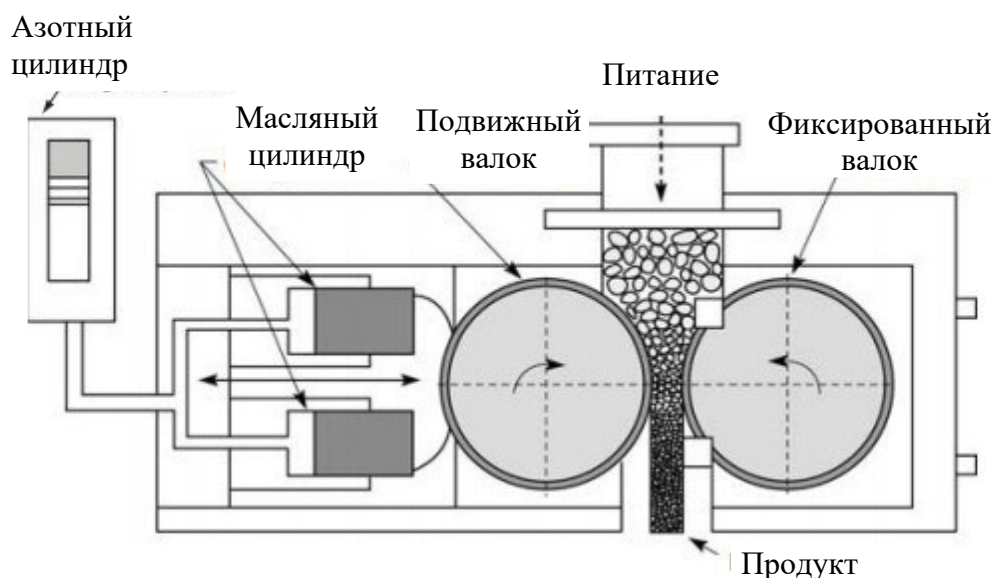


Рис. 1. Устройство измельчающих валков высокого давления

Валы монтируются в блоки сверхмощных подшипников качения, которые в свою очередь устанавливаются в корпусную раму машины, способную выдерживать высокие динамические нагрузки. Давление подаётся к блоку подшипников одного из валков посредством гидропневматической нагнетательной системы, в то время как блок второго валка неподвижно закреплён в корпусной раме. Каждый валок оснащён собственным электроприводом, передающим вращение на вал через понижающий редуктор. Скорость вращения валков может быть, как постоянной, так и переменной в зависимости от технологических особенностей процесса. Во втором случае привода дополнительно

комплектуются частотными преобразователями питающего напряжения.

Валки устанавливаются на прочных самоцентрирующихся сферических роликоподшипниках. Кроме радиальных нагрузок подшипники способны воспринимать осевые нагрузки, действующие в обоих направлениях, делая их нечувствительными к сдвигам вала. Один из валков пресса, так называемый «фиксированный» валок, устанавливается непосредственно на раме пресса, в свою очередь другой «подвижный» валок поддерживается на раме при помощи гидропневматической пружинной системы, что позволяет валку двигаться по горизонтали во время работы.

Это движение «подвижного» вала составляет основной принцип измельчения под высоким давлением на валковом прессе. Величина смещения вала (зазор между валками) определяет силу давления, создаваемую гидравлической системой по отношению к противодействующей силе, создаваемой обрабатываемым материалом. Данная особенность конструкции обеспечивает прохождение материала между валками при одинаковых параметрах во время всего процесса измельчения, тем самым обеспечивая стабильное качество продукта на выходе из ИВВД.

В рабочей зоне измельчающих валков высокого давления могут быть реализованы два механизма разрушения. В условиях, где максимальный кусок питания машины не превышает рабочей ширины щели между валками, реализуется межчастичное дробление в сжатом слое. В случаях наличия более крупных кусков они захватываются непосредственно поверхностями футеровочных бандажей, что приводит к их преддроблению до входа в зону сжатия. В зоне сжатия происходит образование уплотнённого слоя материал, что приводит к резкому росту его насыпной плотности. Типично плотность слоя достигает 70–85 % истинной плотности материала. С учётом вышеописанного рабочую зону между валками можно условно разделить на два пространства: зону преддробления и зону сжатия (рис. 2).

Анализируя механизм разрушения частиц и геометрию конструкции, можно заметить, что угол захвата α , для частиц, размер которых больше рабочей ширины щели, определяется как

$$\cos \alpha = \frac{R(h - h_0)}{R}.$$

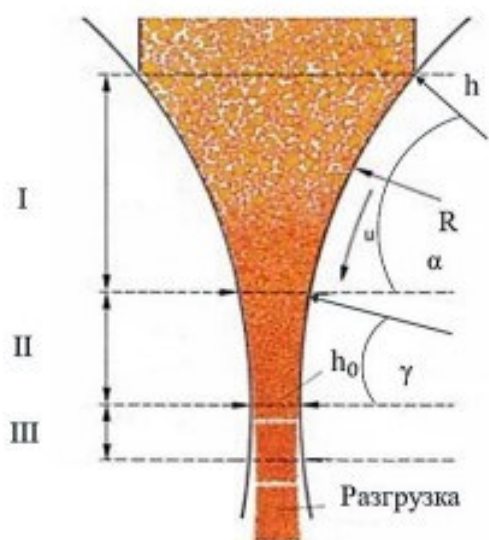


Рис. 2. Механизм разрушения частиц в ИВВД:

I – зона преддробления;

II – зона сжатия (дробления);

III – зона разгрузки;

R – радиус вала;

u – окружная скорость;

h_0 – рабочая ширина щели;

h – ширина в произвольном сечении между валами;

α – угол захвата для частиц, размер которых больше рабочей ширины щели;

γ – угол захвата для частиц, размер которых меньше рабочей ширины щели

Экспериментальным путём установлено [1]

$$\cos \alpha = 1 - \left(\frac{x_{\max}}{h_0} - 1 \right) \frac{h_0}{2R},$$

где $x_{\max}$ – максимальный размер куска в питании;

$$\cos \gamma = 1 - \left(\frac{\delta}{\varepsilon} - 1 \right) \frac{h_0}{2R},$$

где δ – насыпная плотность уплотнённого материала в зоне сжатия;

ε – насыпная плотность материала в питании.

Типично рабочая ширина щели составляет 2–3 % от диаметра вала, в соответствии с чем кусок лишь до 1,5 раза превышающий рабочую щель может быть захвачен в зону сжатия. Попадание кусков большего размера приводит к разведению валков и разрыву зоны сжатия, что существенно снижает эффективность разрушения.

В настоящее время ИВВД в основном используются на дополнительной стадии тонкого дробления руды перед её подачей в цикл измельчения. Снижение крупности дроблёной руды позволяет увеличить производительность измельчительного оборудования на 15–20 % (в отдельных случаях и выше) в зависимости от особенностей руды и действующей схемы рудоподготовки [2].

Валковые дробилки высокого давления хорошо зарекомендовали себя при переработке золотосодержащих руд. Селективное разрушение

по слабым связям, повышение трещиноватости продукта дробления даёт повышение извлечения при выщелачивании.

В алмазной промышленности их применение позволяет снизить вероятность разрушения алмазов при дроблении (несколько алмазодобывающих предприятий в Африке используют это оборудование).

Современные ИВВД весьма компактны, вследствие чего требуют создания меньших фундаментов, чем традиционные конусные дробилки. Машины обладают низким уровнем вибрации и шума, а образующаяся в ходе разрушения рудная пыль может быть легко удалена с помощью систем аспирации.

Выводы. Основной особенностью дезинтеграции полезных ископаемых в валковых дробилках высокого давления является быстрое распространение трещин на границах зёрен частиц материала, подвергнутого обработке высоким удельным давлением между вращающимися навстречу друг другу валками, что значительно сокращает энергетические затраты на разрушение частиц материала. Кроме того, метод измельчения в валковом прессе является гораздо более производительным и экологически более чистым, чем любой традиционный метод.

Перечень ссылок

1. Ефимов, Д. А. Технологический анализ конструктивных особенностей измельчающих валков высокого давления (HPGR) для измельчения минерального сырья различного состава / Д. А. Ефимов // Вестник науки и образования. – 2020. – № 12-2 (90). – С. 24–27.

2. Иванов, А. Н. Применение валковых дробилок высокого давления – перспективный путь модернизации рудоподготовки действующих горно-обогатительных предприятий / А. Н. Иванов, Н. О. Тихонов // Горный журнал. – 2014. – № 11. – С. 22–26.

УДК 624.21.042.8: 625.032.435: 629.3.015.5

К ВОПРОСУ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ.

Н.В. Тепикин, С.А. Чудинов

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический
университет», г. Екатеринбург, Россия

Аннотация: В статье рассматривается динамическая модель взаимодействия транспортного средства и моста, анализируются условия возникновения резонансных явлений. Описаны четыре возможных состояния резонанса, оценена их реализуемость на практике. Показано, что основной фактор возникновения резонанса — близость собственной частоты моста к частоте колебаний транспортного средства.

Ключевые слова: мост, транспортное средство, резонанс, динамическая модель, частота колебаний, амплитуда отклика.

Annotation: The article considers a dynamic model of the vehicle-bridge interaction and analyzes the conditions for the occurrence of resonance phenomena. Four possible resonance states are described, and their practical feasibility is evaluated. It is shown that the main factor for the occurrence of resonance is the proximity of the bridge's natural frequency to the vehicle's oscillation frequency.

Keywords: bridge, vehicle, resonance, dynamic model, oscillation frequency, response amplitude.

Взаимодействие транспортного средства и мостовой конструкции — сложный динамический процесс, который может приводить к возникновению резонансных явлений. Резонанс опасен тем, что вызывает резкое увеличение амплитуды колебаний, что потенциально угрожает целостности конструкции. Цель данной работы — проанализировать условия возникновения резонанса в системе «транспортное средство — мост» и оценить их практическую реализуемость. [1]

Резонанс — это частотно избирательный отклик колебательной системы на периодическое внешнее воздействие, проявляющийся в резком увеличении амплитуды колебаний при совпадении частоты внешнего воздействия с собственной частотой системы. В контексте мостовых конструкций это означает, что собственная частота колебаний моста f_m определяется его массой, жёсткостью и демпфирующими свойствами, а частота воздействия от транспортного

средства $f_{тс}$ зависит от скорости движения, массы, расстояния между осями и характеристик подвески. Из этого следует, что условие резонанса можно записать как: $f_m \approx f_{тс}$.

Для анализа взаимодействия используем упрощённую модель. Мост рассматривается как балка с распределённой массой и упругостью, имеющая несколько собственных частот колебаний $f_1, f_2, \dots, f_n$. Транспортное средство моделируется как система с сосредоточенной массой и пружинной подвеской, создающая периодическую нагрузку при движении.

Дифференциальное уравнение движения системы имеет вид:
$$mx'' + cx' + kx = F(t),$$

где:

m — эффективная масса системы;

c — коэффициент демпфирования;

k — жёсткость конструкции;

$F(t)$ — внешняя сила, создаваемая движущимся транспортным средством.

Частота воздействия от транспортного средства при движении со скоростью v и шагом между колёсами L определяется как: $f_{тс} = Lv$.

Условия возникновения резонанса

Выделяют четыре основных состояния резонанса в системе:

Прямой механический резонанс — возникает при точном совпадении f_m и $f_{тс}$. Характеризуется линейным ростом амплитуды колебаний во времени.

Параметрический резонанс — проявляется при периодическом изменении параметров системы (например, при движении колонны автомобилей с регулярным интервалом). Уравнение содержит периодические коэффициенты.

Субгармонический резонанс — возникает, когда $f_{тс}$ кратна f_m (например, $f_{тс} = 2f_m$).

Комбинационный резонанс — обусловлен взаимодействием нескольких частот воздействия (например, от разных типов транспортных средств).

Анализ показывает, что наиболее вероятными на практике являются прямой резонанс при движении тяжёлых грузовиков с определённой скоростью или параметрический резонанс при прохождении колонны автомобилей с регулярным интервалом.

Факторы, снижающие вероятность резонанса, включают демпфирование в конструкции моста ($c > 0$), которое рассеивает энергию колебаний и ограничивает рост амплитуды; случайный

характер нагрузки, обусловленный различиями в скорости движения, массе транспортных средств и интервале между ними — это нарушает регулярность внешнего воздействия и снижает вероятность устойчивого резонансного отклика; а также многочастотность собственных колебаний моста: наличие нескольких собственных частот у мостовой конструкции уменьшает риск совпадения с частотой внешнего воздействия по всем модам колебаний одновременно. [2]

Критическая скорость движения $v_{кр}$, при которой возникает резонанс, рассчитывается по формуле $v_{кр} = f_m \cdot L$, где f_m — собственная частота колебаний моста, а L — характерный размер, который может соответствовать шагу колонны транспортных средств либо расстоянию между осями колёс одного транспортного средства. При достижении этой скорости частота воздействия от движущегося транспорта синхронизируется с собственной частотой моста, что создаёт условия для развития резонансных колебаний. [3]

Последствия резонанса могут быть весьма серьёзными: прежде всего, возникают усталостные повреждения конструкции из-за циклическими нагрузками, превышающих расчётные значения; далее появляются трещины в несущих элементах, ослабляющие общую прочность сооружения; в крайних случаях, при значительном росте амплитуды колебаний и накоплении повреждений, возможен частичный или полный обрушение моста, что представляет прямую угрозу безопасности движения и может привести к техногенной аварии. [4]

Для снижения риска резонансных явлений применяются различные методы предотвращения резонанса. Во-первых, на этапе проектирования мосты конструируют так, чтобы их собственные частоты находились вне диапазона типичных частот воздействия от проходящего транспорта — это минимизирует вероятность совпадения частот. Во-вторых, устанавливают динамические гасители колебаний: специальные устройства, настроенные на противофазное гашение вибраций, эффективно снижают амплитуду колебаний в критических зонах. В-третьих, вводят ограничение скорости движения тяжёлого транспорта: контролируя скорость, можно избежать достижения критической скорости $v_{кр}$ и тем самым исключить условия для резонанса. В-четвёртых, организуют мониторинг вибраций в реальном времени с помощью датчиков и систем сбора данных — это позволяет оперативно фиксировать аномальные колебания и принимать меры (например, временно ограничивать движение) до развития опасных ситуаций. [5]

Перечень ссылок

1. Борисенко, И. С. Дефекты, деформации и разрушения как следствие ошибок на этапах жизненного цикла мостового сооружения / И. С. Борисенко, А. А. Мальцева, Д. В. Демидов. – Текст: электронный // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XIX Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. – С. 617–621. – URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12295>.
2. ГОСТ 33161–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению диагностики и паспортизации искусственных сооружений на автомобильных дорогах: Межгосударственный стандарт. / Введен 2016–08–01 с правом досрочн. прим. – М.: Стандартиформ, 2016. – IV, 13 с. – Текст: непосредственный.
3. ОДМ 218.4.001-2008. Методические рекомендации по организации обследования и испытания мостовых сооружений на автомобильных дорогах: Отраслевой дорожный методический документ / Введен 2008-06-11. – Москва: ФГУП «Информавтодор», 2008. 77 с. – Текст: непосредственный.
4. ОДМ 218.3.014-2011. Методика оценки технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах: Отраслевой дорожный методический документ. – Москва: ФГУП «Информавтодор», 2008. IV, 80 с. – Текст: непосредственный.
5. Черкасов, В.В. Дефекты железобетонных автодорожных мостов: Метод. пособие по выявлению и устранению дефектов / В.В. Черкасов // Глав. упр. шосс. дорог при Совете Министров БССР. Белорус. дор. науч.-исслед. ин-т. – Минск: Полымя, 1969. 120 с.

УДК 622.457.2/3

КОНТРОЛЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ГАЗОВ НА ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Р.А. Тишин^{1,2}, А.В. Агарков^{1,2}, Е.Ю. Зарубина¹, В.В. Веткина²

¹ ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

² ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Выполнены научно-технический анализ причин, источников, путей и условий выделения вредных газов на земную поверхность, анализ аварийности и травматизма. Предложены методы и приборы контроля выделения вредных газов путем отбора и анализа проб воздуха.

Annotation (Abstract). Scientific and technical analysis of the causes, sources, routes, and conditions of harmful gases release to the earth's surface, as well as an analysis of accidents and injuries, has been performed. Methods and devices for monitoring the release of harmful gases by sampling and analyzing air have been proposed.

Ключевые слова: вредные газы; земная поверхность; источники выделения и пути миграции метана; контроль содержания вредных газов; инструментальное оборудование; отбор проб воздуха.

Keywords: harmful gases; earth surface; sources of methane emission and migration; control of harmful gas content; instrumentation; air sampling.

После отработки выемочных полей, ликвидации и консервации шахт, прекращения проветривания и затопления выработок увеличивается выделение вредных газов на земную поверхность, что требует их постоянного мониторинга и контроля с целью обеспечения безопасности людей [1, 2].

Обоснование необходимости контроля выделения вредных газов на земную поверхность, в здания и сооружения подразделениями горноспасательной службы при ликвидации (консервации) шахт. Для этого требуется исследовать источники, пути и причины выделения вредных газов, определить необходимость, порядок, периодичность и меры безопасности при проведении контроля.

Источниками выделения вредных газов являются изолированные отработанные выработанные пространства, в полостях обрушения

которых произошло накопление газов. Пути поступления вредных газов на земную поверхность представляют собой: стволы, шурфы, скважины, тектонические и геологические трещины и другие выработки, имеющие связь с выработанными пространствами и выходящие на поверхность. Причины выделения вредных газов: прекращение проветривания и откачки воды при наличии вертикальных и наклонных выработок, выходящих на земную поверхность. Выделение вредных газов на земную поверхность возможно также в зонах влияния горных выработок, выходящих на земную поверхность, где газовый обмен происходит за счет молекулярной диффузии и гравитационного напора, формирующегося в результате появления градиента плотности газов. Наибольшую опасность по выделению вредных газов на поверхность имеют краевые части угрожаемых участков, зафиксированные в плане поверхности на стадии разработки проекта ликвидации шахты.

Газовыделение, в первую очередь, связано с антиклинальными складками (рис. 1), пористыми и трещиноватыми породами, вертикальными и наклонными выработками (рис. 2), тектоническими нарушениями дизъюнктивного характера, геологическими трещинами, имеющими выход на земную поверхность.

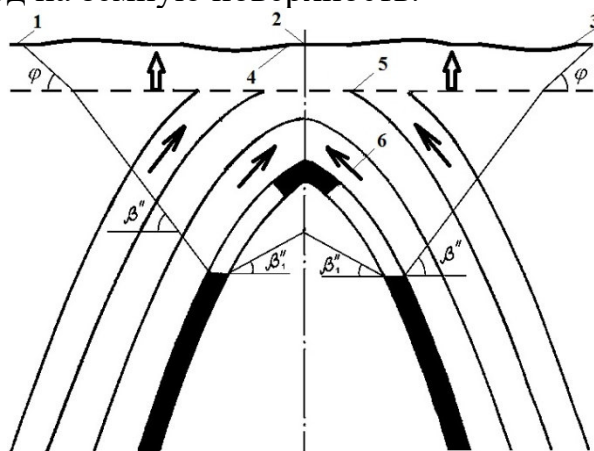


Рис. 1. Схема выхода вредных газов на земную поверхность при отработке пласта в антиклинальной складке:

- 1, 2, 3 – зоны выхода вредных газов на земную поверхность;
- 4 – земная поверхность; 5 – граница метановой зоны;
- 6 – направление движения вредных газов

На земной поверхности горных отводов Донбасса за последние 10 лет произошло 82 случая воспламенения метана, в результате которых травмировано 95 человек, в том числе на поверхностных объектах действующих шахт произошло 47 взрывов, в результате которых травмировано 49 человек. На поверхностных объектах горных отводов

закрытых шахт зафиксированы 38 участков земной поверхности, где произошли 35 воспламенений и взрывов, травмировано 46 человек, при этом 4 из них – смертельно [2 – 4]. В местах газовыделения наблюдались нагрев и изменение температуры почвы (примерно до 45 °С), изменение ее структуры и окисление, выгорание растительности. Почва становилась непригодной для земледелия. Концентрация метана в некоторых домах и погребах достигала опасных значений.

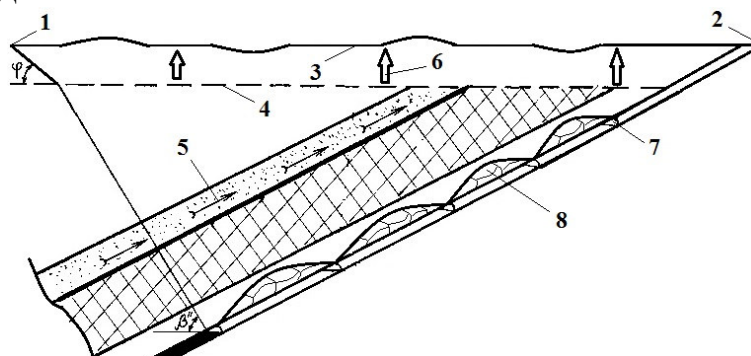


Рис. 2. Геологический разрез пород в месте возможного выделения метана на земную поверхность:

- 1, 2 – места возможного выделения метана на земной поверхности;
- 3 – земная поверхность; 4 – граница метановой зоны;
- 5, 6 – направления движения вредных газов; 7 – наклонная выработка;
- 8 – зона обрушения над выработанным пространством

Анализ работ [1 – 5] свидетельствует о различных подходах к решению данной задачи, что подтверждает необходимость расширения и углубления исследований в этом направлении с учетом особенностей объектов «закрытая шахта» как потенциальных техногенных скоплений метана и других вредных газов.

В Донбассе практика предварительной дегазации месторождений практически не применяется, поэтому имеет место интенсивное выделение метана на земную поверхность, что приводит к воспламенениям и взрывам.

Выделение метана на поверхность происходит в определенных местах, как правило, по стволам, шурфам и скважинам. Под напором воды при затоплении ствола, скважины и шахты или резком перепаде атмосферного давления в выработанном пространстве (пустотах) возникает избыточное давление, что приводит к значительному увеличению выделения газа на земную поверхность.

Необходимо учитывать, что вместе с метаном из шахты в процессе затопления может вытесняться шахтная среда с низким содержанием кислорода и повышенным содержанием диоксида

углерода. Диоксид углерода наравне с метаном представляет опасность для жизнедеятельности людей. Он тяжелее воздуха в 1,5 раза, поэтому скапливается у почвы сооружений. Даже при небольших его концентрациях (около 1 %) у человека затрудняется дыхание, наступает обморок, а затем – удушье.

В настоящее время на 44 ликвидированных шахтах Донецкой Народной Республики площадь обследуемых горных отводов достигла 11800 га, зафиксировано 412 опасных и 17939 угрожаемых зон, при этом общее количество точек замеров достигло 78440.

Для контроля содержания вредных газов применяют приборы газового контроля, а отбор проб воздуха осуществляют в специальные емкости (резиновые камеры или стеклянные бюретки) в соответствии с [4, 5]. Для измерения содержания газов в почвенном воздухе используют специальное воздухозаборное устройство (рис. 3).

Предлагается плановые замеры концентрации метана и других газов осуществлять не реже:

- одного раза в месяц – в зданиях и сооружениях, газодренажных скважинах и трубопроводах, расположенных в угрожаемой зоне;
- трех раз в месяц – в жилых и общественных зданиях, расположенных в опасной зоне.

В зданиях, где установлено наличие метана, необходимо выполнять внеплановые отборы проб воздуха в течение суток со дня его обнаружения. Результаты анализов являются основанием для перевода угрожаемой зоны в опасную. При содержании метана в отдельных помещениях 1 % и более работы в здании следует прекратить, вывести людей из здания, отключить электроэнергию, разрешить доступ в здание только лицам, осуществляющим контроль содержания метана. Нужно принять меры по обеспечению усиленного контроля содержания метана в здании, выяснить причины выделения и скопления метана и способствовать его ликвидации (проветривание помещений и защита здания от проникновения метана). Допуск людей в такие здания разрешается только после ликвидации скопления метана и создания постоянных условий, исключающих его повторное образование. Если подобные условия не могут быть обеспечены, то население этих домов должно быть переселено.

Таким образом, выполнено обоснование необходимости контроля выделения вредных газов на земную поверхность, в здания и сооружения при ликвидации (консервации) шахт, проведены исследования опасности выделения вредных газов, их источников, путей, условий и механизма поступления на земную поверхность.

Основные причины выделения вредных газов на земную поверхность, в здания и сооружения – прекращение проветривания и затопление выработок

водой при ликвидации или консервации шахт. Вредные газы вытесняются на земную поверхность, проникают в погреба, здания и сооружения, представляя опасность для жизнедеятельности людей. Приведено деление участков земной поверхности на зоны опасности по выделению вредных газов.

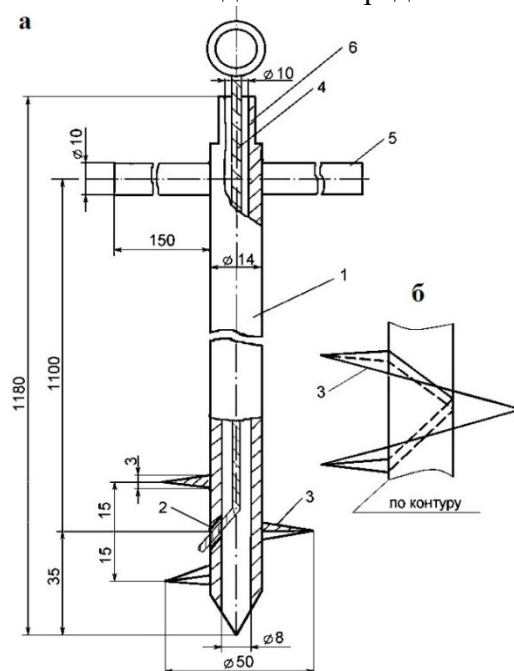


Рис. 3. Воздухозаборное устройство (а) и шнековая навивка (б):
1 – стальная труба (штанга); 2 – газозаборное отверстие, диаметром 4 мм; 3 – отрезок шнековой навивки; 4 – запирающий элемент в виде стального шомпола диаметром 3 мм; 5 – ручки для погружения (ввинчивания) устройства в грунт; 6 – газозаборный штуцер

Перечень ссылок

1. Техногенные исследования закрытия угольных шахт Украины / Ю.Н. Гавриленко, В.Н. Ермаков, Ю.Ф. Кренида [и др.]. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – 632 с.
2. Яковенко, А.В. Опасность выделения газов на поверхность из закрытых шахт, ее прогноз и предотвращение / А.В. Яковенко, В.А. Безбородов // Материалы 11-й международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. – Тула, Изд. ТулГУ, 2016. – С. 31 – 36.
3. Технология закрытия (ликвидации) угольных шахт / под ред. д-ра техн. наук. проф. И.Ф. Ярембаша. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – 238 с.
4. Исследование содержания метана в почвенном воздухе в области выходов под наносы геологических нарушений / Т.А. Василенко, Н.И. Василенко, Н.И. Волошина, И.Е. Кольчик [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 7. – С. 159 – 166.
5. Руководство по проведению депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2020. – 92 с.

УДК 622.012:004.9

**ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ФЛЮСОВЫХ ИЗВЕСТНЯКОВ С ЦЕЛЬЮ УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ ДОБЫВАЕМОГО СЫРЬЯ**

М.А. Тохтамыш, В.Б. Скаженик

ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Рассмотрены вопросы управления качеством полезного ископаемого на нерудных карьерах с использованием компьютерных моделей месторождений. Выделены основные факторы, влияющие на качество добываемого сырья. Построена геологическая модель карьера по добыче флюсовых известняков.

Annotation. The issues of mineral quality management in non-metallic quarries using computer models of deposits are considered. The main factors influencing the quality of the extracted raw materials are highlighted. A geological model of a quarry for the extraction of flux limestone has been constructed.

Ключевые слова: моделирование месторождений, горно-геологическая информационная система, качество добываемого сырья.

Keywords: deposit modeling, mining and geological information system, quality of extracted raw materials.

В условиях изменчивости факторов внешней и внутренней среды для стабилизации качества добываемой продукции горнодобывающему предприятию необходимо оперативно изменять проектные и плановые решения.

На качество полезного ископаемого влияют три основных группы факторов, из которых основными управляемыми являются технологические, технические и организационные факторы (табл. 1) [1].

Таблица 1 – Факторы, влияющие на качество добываемого сырья, применительно к карьерам флюсовых известняков (на основе классификации проф. Г.Г. Ломоносова)

Природные	Технологические (технические и организационные)	Экономические
- Природное качество полезного ископаемого - Изменчивость показателей качества в пределах карьерного поля - Наличие примесей - Физико-технические свойства полезного ископаемого	- Последовательность и порядок отработки залежей - Система разработки и её параметры - Способы контроля качества полезного ископаемого в процессе добычи	- Цены на конечную продукцию и полезное ископаемое - Себестоимость добычи и переработки полезного ископаемого

Основными требованиями со стороны металлургической отрасли к поставляемому известняку являются содержание нерастворимого остатка (при уменьшении значения этого показателя увеличивается флюсующая способность известняков) и содержание $\text{CaO}+\text{MgO}$.

Для анализа качественных характеристик в практике исследований широко используется геометризация месторождений, что позволяет прогнозировать качество добываемого сырья на основе компьютерного моделирования [2].

Авторы [3] указывают на то, что первым этапом управления качеством и разработки системы является всестороннее изучение характеристик полезного ископаемого по данным геологоразведки и лабораторных исследований.

Цифровая трансформация горной отрасли невозможна без применения специализированных горно-геологических информационных систем (ГГИС), которые обеспечивают сбор, хранение, обработку и трёхмерное моделирование геологических и маркшейдерских данных. Такие системы используются на всех этапах – от геологоразведки до проектирования и оперативного управления горными работами. Одним из направлений использования ГГИС является управление качеством полезного ископаемого.

Авторы [4] указывают на актуальность построения цифровых моделей горных предприятий на основе российского программного обеспечения и предлагают модель угольного карьера с применением функционала ГГИС МАЙНФРЕЙМ.

С целью разработки системы управления качеством добываемого сырья на карьерах Комсомольского рудоуправления с использованием авторского программного обеспечения «Россыпь» [5] построена пространственная геологическая модель карьера. Основой для формирования модели являются план горных работ и геологические разрезы. Модель визуализирует земную поверхность, текущие границы бортов карьера, пласты полезного ископаемого и вскрышные породы.

Каракубское месторождение флюсовых известняков приурочено к комплексу карбонатных пород нижнекаменноугольного возраста.

В основании промышленной толщи известняков, включающей горизонты $C_1^v(v+c)$, $C_1^t(d1+d2)$ и $C_1^tс$, залегают некондиционные известняки горизонтов $C_1^tа$ и $C_1^tв$, подстилаемые осадочно-вулканогенными породами девона.

Промышленная толща разделена горизонтом некондиционных известняков $C_1^vа$ мощностью 6 метров и перекрыта кремнистыми известняками горизонта $C_1^vд$.

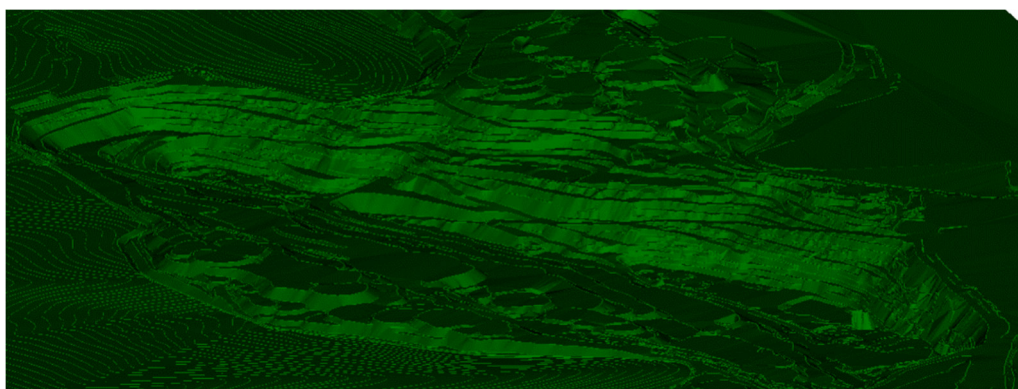
Залегание пород преимущественно моноклинальное под углами 8-18°, осложненное сетью разрывных нарушений, обусловивших блоковое строение месторождения.

В пределах карбонатной толщи широко развит внешний и внутренний карст, в виде воронок, каверн, пещер, щелей и полостей. Карстовые полости заполнены бурыми глинами с обломками кремней.

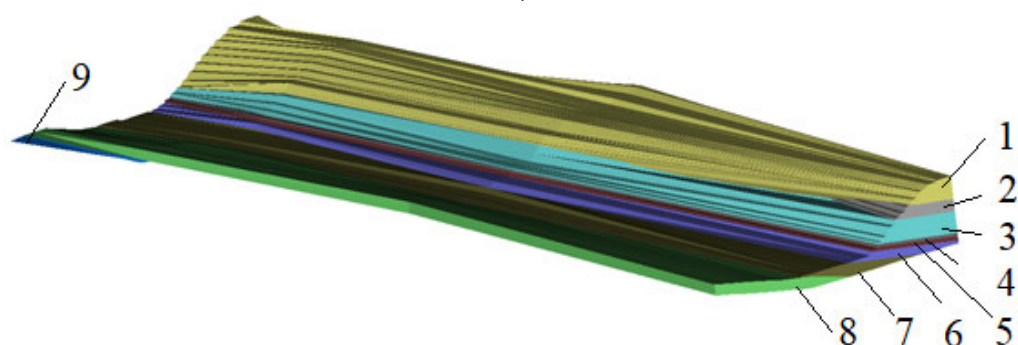
В связи со значительной изменчивостью характеристик горных пород для стабилизации качественных характеристик добываемого сырья необходим инструментарий, позволяющий визуализировать пространственное распределение кондиционных запасов, строить разрезы и проекции, формировать плановые контура отработки на различные временные периоды, рассчитывать объемы горных пород различного качества.

На рисунке 1 представлена построенная геологическая модель месторождения флюсовых известняков, отражающая пространственное распределение промышленных известняков и вмещающих пород.

С использованием программного обеспечения возможен оперативный анализ долевого соотношения объемов различных горных пород, что создает предпосылки для рассмотрения множества вариантов вовлечения запасов в отработку и формирования планов развития горных работ, стабилизирующих показатели качества добываемого сырья (табл. 2).



а)



б)

Рисунок 1. Геологическая модель месторождения флюсовых известняков: а) поверхность карьера; б) виды горных пород: 1 – вскрышные породы (глины и суглинки с щебнем известняков), 2 – кремнистые известняки, 3,5-7 – промышленная толща известняков, 4,8,9 – некондиционные известняки

Таблица 2 – Соотношение объемов горных пород различных горизонтов

Тип горных пород	Q+P	$C_1^v d$	$C_1^v (b+c)$	$C_1^v a$	$C_1^t d1$	$C_1^t d2$	$C_1^t c$	$C_1^t b$	$C_1^t a$
Объем, млн. м ³	44,06	3,48	11,85	2,40	8,51	3,35	15,66	21,02	1,14
%, от общего объема	39,53	3,12	10,63	2,15	7,63	3,01	14,05	18,85	1,02
Прим.	В	К	П	Н	П	П	П	Н	Н

Примечание: В – вскрышные породы; К – кремнистые известняки; П – промышленная толща; Н – некондиционные известняки.

Выводы. В условиях изменчивости факторов, влияющих на качество добываемого сырья на карьерах, необходимо создание систем управления

качеством, основанных на комплексном моделировании условий разработки месторождения и основных производственных процессов.

В основе таких систем должна быть компьютерная модель месторождения, модель буровзрывных работ, выемочно-погрузочных и транспортных работ. Системное рассмотрение взаимосвязанных процессов позволит прогнозировать качество добываемого сырья и оптимизировать работу горнодобывающего предприятия.

Перечень ссылок

1. Ломоносов, Г. Г. Горная квалиметрия: Учебное пособие / Г. Г. Ломоносов. – 2-е изд., стер. – М. : Издательство «Горная книга», Издательство Московского гос. горного ун-та, 2007. – 201 с.
2. Кантемиров, В. Д. Применение геоинформационных технологий блочного моделирования для совершенствования методов оценки качественных показателей полезных ископаемых / В. Д. Кантемиров, А. М. Яковлев, Р. С. Титов // Известия вузов. Горный журнал. – 2021. – № 1. – С. 63-73. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-1-63-73
3. Современные подходы к выбору методов рудоподготовки минерального сырья / В.Д. Кантемиров, Р.С. Титов, А.М. Яковлев, М.В. Козлова// Маркшейдерия и недропользование. – 2020. – № 4(108). – С. 29-34
4. Формирование цифровой модели угольного месторождения в горно-геологической информационной системе МАЙНФРЭЙМ / К. Ю. Анистратов, О. В. Наговицын, Г. О. Наговицын, М. О. Васильева // Горная промышленность. – 2024. – № 3. – С. 64-69.
5. Скаженик В. Б. Система автоматизированного проектирования разработки россыпных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 3. – С. 150-152.

УДК 622.4

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Е. И. Харлова, А. Л. Кавера

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»,
г. Донецк;

В. В. Лихачева

Автомобильно-дорожный институт (филиал)

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»
в г. Горловка

katerina_harlova@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрено современное состояние аэрологической безопасности в угольных шахтах. Проведен анализ основных аэрологических рисков. Предложены направления повышения аэрологической безопасности, акцентирующие внимание на цифровизации, технологических инновациях и изменении культуры безопасности.

Ключевые слова: аэрологическая безопасность, метан, взрывы, вентиляция, дегазация, аварийность, травматизм.

Abstract. This article examines the current state of aerological safety in coal mines. It analyzes the main aerological risks. It proposes ways to improve aerological safety, focusing on digitalization, technological innovation, and changing the safety culture.

Keywords: aerological safety, methane, explosions, ventilation, degassing, accidents, injuries.

Аэрологическая безопасность, понимаемая как комплекс мер по обеспечению безопасного состояния рудничной атмосферы, была и остается краеугольным камнем промышленной безопасности угольной отрасли. Несмотря на значительный технологический прогресс, угольные шахты продолжают оставаться объектами повышенной опасности, где аэрологические риски – внезапные выбросы угля и газа, взрывы метана и угольной пыли, пожары – несут прямую угрозу жизни людей и сохранности производственных активов. В связи с этим, анализ современного состояния проблемы аэрологической безопасности и поиск путей ее решения являются актуальными и важными задачами.

Основными рисками при добыче угля по-прежнему остаются возможность образования взрывоопасной концентрации метана и наличие взрывоопасной угольной пыли. Поэтому угледобывающим

компаниям необходимо уделять особое внимание аэрологической безопасности [1].

Газовая обстановка в угольной шахте определяется совокупностью факторов, связанных с геологическими особенностями угольных пластов, технологией добычи угля и эффективностью применяемых мер по дегазации и вентиляции.

Нехватка инвестиций в модернизацию шахт вынуждает прибегать к небезопасным изменениям в технологиях добычи и режимах работы оборудования повышенной опасности. Это повышает риск аварий. Производственный травматизм в угольной промышленности по-прежнему значительно выше, чем в других отраслях. Статистика аварий и травм – ключевой объективный показатель уровня промышленной безопасности. Данные о травматизме включают количество погибших в единичных и групповых несчастных случаях, а также ежегодное число аварий и другие значимые параметры.

Анализ динамики добычи угля на шахтах Российской Федерации, аварийности и травматизма со смертельным исходом за период с 2015 по 2024 гг. показывает, что добыча угля в среднем возросла за этот период в 1,27 раза, число аварий при этом снизилось в 8 раз, количество смертельно травмированных работников уменьшилось в 1,54 раза (рис. 1, 2) [2].



Рис. 1. Динамика объемов добычи угля, смертельного травматизма и аварийности

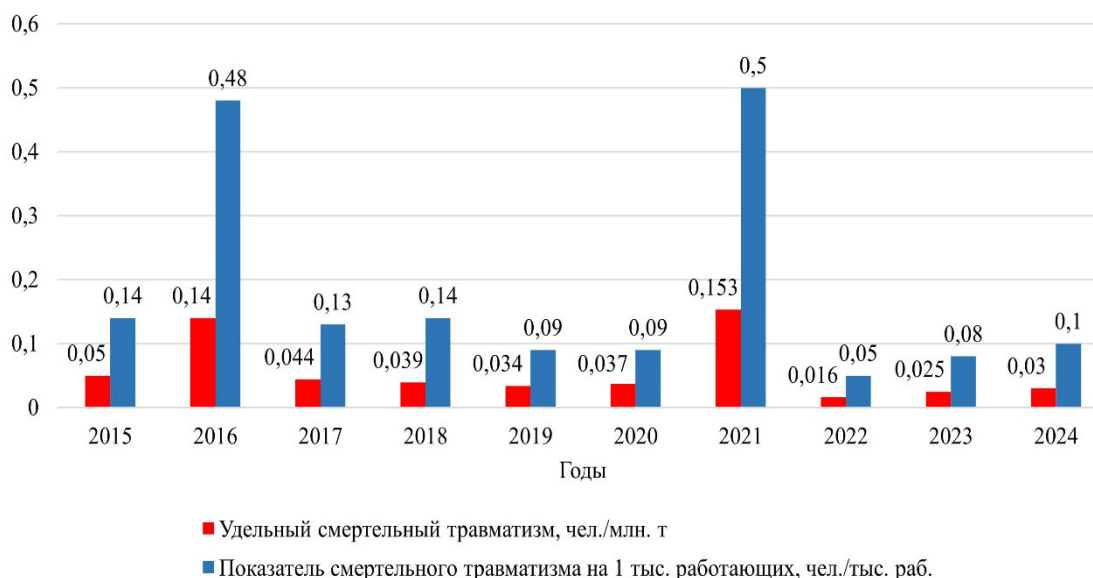


Рис. 2. Динамика смертельного травматизма на объектах в угольной промышленности

Несмотря на общее снижение аварийности и травматизма в угольной отрасли за последние десять лет, аварии с многочисленными жертвами происходят регулярно. Это подчеркивает необходимость сосредоточить научные и производственные ресурсы на оценке, прогнозировании и снижении аэрологических рисков в угольных шахтах.

Наиболее частые и опасные аварии в угольной промышленности, приводящие к значительным материальным потерям и угрожающие жизни шахтеров, – это взрывы метана и угольной пыли, а также подземные пожары.

Для обеспечения аэрологической безопасности при горных работах необходимо комплексно подходить к выбору схемы вентиляции выемочных участков и способа дегазации. При этом, если выбранная схема вентиляции недостаточно эффективна для дегазации, ее следует скорректировать. Содержание метана в выработках должно быть значительно меньше нижнего предела взрывчатости метано-воздушной смеси, равного 5%. Управление метановыделением в шахте заключается в его перераспределении [3]. Оценка рисков, связанных с надежностью и уязвимостью схем проветривания, позволяет учесть все факторы, влияющие на аэрологическую безопасность, включая эффективность дегазации.

Так же одними из ключевых моментов повышения аэрологической безопасности является: превентивное управление рисками с помощью

цифровых технологий; снижение человеческого фактора за счет технологических инноваций; изменение культуры безопасности.

По информации Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Институт физики горных процессов» (ФГБНУ «ИФГП»), г. Донецк, для решения текущих вопросов и проблем угольной промышленности, требуется разработка научных основ по следующим направлениям:

- распределение метана в угольном массиве и методов интенсификации его дегазации;
- методы борьбы с выбросами угля и газа;
- способы управления горным давлением на подземные выработки и способы их охраны [4].

Вывод. Современное состояние проблемы характеризуется прогрессом в технологиях, но сохраняющимися рисками из-за человеческого фактора, экономических ограничений и геологических условий. Внедрение инноваций, обновление норм и повышение осведомленности могут минимизировать риски. Дальнейшие исследования должны фокусироваться на интеграции искусственного интеллекта с традиционными методами и оценке экологических воздействий.

Перечень ссылок

1. Баловцев, С. В. Аэрологические риски как ключевой фактор обоснования безопасности угольных шахт / С. В. Баловцев, О. В. Скопинцева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № S1. – С. 5-13. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-1-1-5-13. – EDN OCLYJM.

2. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2024 году / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). – Москва, 2025. – 402 с. – Текст: электронный // Официальный сайт Ростехнадзора: [сайт]. – URL https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/Пр-259%20от%2004.08.2025%20Годовой%20отчет.pdf (дата обращения: 20.05.2025).

3. Аэрология горных предприятий. Конспект лекций / Сост.: В.А. Трофимов, А.Л. Кавера – Донецк: ДонНТУ, 2022. – 122 с.

4. Доклад о реализации в 2024 году Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года / Министерство энергетики РФ: офиц. сайт. URL: <https://minenergo.gov.ru/industries/coal/about> (дата обращения: 23.11.2025).

УДК 504.05

ТЕХНОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Е. И. Харлова, А. Л. Кавера

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»,

г. Донецк;

В. В. Мамаев

ФГКУ «НИИ «РЕСПИРАТОР» МЧС РОССИИ»,

г. Донецк

katerina_harlova@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ основных факторов негативного воздействия на окружающую природную среду при ликвидации угольных шахт и их последствий. Определены направления деятельности по минимизации деструктивного техногенного влияния. Выделена значимость процесса рекультивации и проведение комплексных исследований, направленных на оценку экологических последствий техногенной деятельности. Отмечена необходимость совершенствования системы экологического мониторинга для получения более информативных и достоверных данных об экологическом состоянии окружающей среды.

Ключевые слова: техногенное воздействие, ликвидация шахт, затопление, горные выработки, рекультивация.

Abstract. The main factors of negative impact on the environment during liquidation of coal mines and their consequences are analysed. The directions of activity on minimisation of destructive technogenic influence are defined. The significance of the process of reclamation and carrying out complex studies aimed at assessing the environmental consequences of technogenic activities is highlighted. The necessity of improvement of ecological monitoring system for obtaining more informative and reliable data on the ecological state of the environment is noted.

Keywords: technogenic impact, mine liquidation, flooding, mine workings, reclamation.

Угольная промышленность – одна из важнейших составляющих экономики Донецкой Народной Республики, так как от стабильности ее функционирования зависит состояние ряда смежных отраслей – металлургии и электроэнергетики. До момента вступления Донецкой и Луганской Народных Республик в состав Российской Федерации 114 шахт находились в стадии консервации или ликвидации. На сегодняшний день государственный сектор угледобывающей отрасли в

республике представлен пятью государственными унитарными предприятиями – «Торезантрацит», «Макеевуголь», «Донецкая угольная энергетическая компания», «Шахта Комсомолец Донбасса», «Шахта им. А.Ф. Засядько», в состав которых входят 15 шахт, из них только 10 осуществляют деятельность по добыче угля [1].

Заккрытие шахты связано с разрешением не только сложных технических вопросов (ликвидация стволов и других горных выработок, объектов поверхностного комплекса), но и весьма ответственных социально-экономических и экологических задач, призванных обеспечить социальную защиту массово высвобождаемых работников, технологическую и экологическую безопасность на длительную перспективу [2].

При закрытии шахт планируется решение важнейших комплексов проблем:

- физическое закрытие (ликвидация);
- социальная защита освобождающихся работников;
- защита и восстановление окружающей природной среды.

Первые две проблемы относительно кратковременны, третья – довольно продолжительна и ее разрешение проходит в три взаимосвязанных и взаимообусловленных оперативно-временных этапа: предликвидационный, ликвидационный и постликвидационный.

В практике закрытия шахт используется три основных способа их физической ликвидации:

1. Полное их затопление («мокрая» ликвидация, консервация), производится засыпка вертикальных и наклонных стволов, других выработок, имеющих выход на дневную поверхность, с устройством на поверхности железобетонных перекрытий. Прекращение шахтного водоотлива обусловит затопление выработок.

2. Комбинированный, когда уровень воды в ликвидируемой шахте поддерживается на определенной отметке.

3. «Сухая» ликвидация (консервация) с сохранением шахтного водоотлива. Предусматривается временное сохранение водоотлива на период работы соседних шахт, имеющих систему водоотводящих каналов с выработками ликвидируемой шахты, либо сохранение постоянного водоотлива для предотвращения возможного затопления эксплуатируемых территорий поверхности.

Ликвидация угольных шахт приводит к комплексному негативному воздействию на окружающую среду. Техногенные факторы, связанные с этим процессом, вызывают загрязнение атмосферного воздуха, гидрографической сети и почвы вредными

органическими и неорганическими соединениями, а также рудничными газами, и приводят к деформации горного массива. На территории бывших шахт сосредоточены значительные объемы отходов угольного производства, хранящиеся на открытых площадках и являющиеся мощными источниками экологического загрязнения [3]. В условиях глобальных изменений климата и нарастающих экологических кризисов, минимизация негативных последствий ликвидационных работ становится приоритетной задачей.

Одной из наиболее серьезных геологических опасностей, связанной с ликвидацией угольных шахт, является образование провалов. Провалы возникают, когда кровля шахты обрушивается, образуя воронку на поверхности. Провалы могут представлять опасность для людей, зданий и инфраструктуры. Другим геологическим риском является оползень. Оползни могут возникать, когда горные породы, окружающие шахту, становятся неустойчивыми из-за добычи угля.

Причиной загрязнения воздуха при закрытии шахт является вытеснение водой опасных газов (метана, угольной кислоты и др.) из горного массива на дневную поверхность и проникновение его в здания и сооружения.

Закрытие шахт часто приводит к образованию отвалов и других искусственных форм рельефа, что изменяет природные экосистемы и может вызывать эрозию почв. Химические вещества, содержащиеся в отходах угледобычи, оказывают негативное влияние на состав почвы, что приводит к уменьшению ее плодородия и ухудшению условий для сельского хозяйства, уменьшению биоразнообразия.

Ликвидация шахт может привести к попаданию загрязненных вод в подземные и поверхностные источники. Выщелачивание токсичных веществ из шахтных отвалов создает угрозу для водных экосистем и здоровья населения.

В настоящее время экологическая обстановка в Донецкой Народной Республике напряженная. Серьезной проблемой является негативное влияние на состояние окружающей среды большого количества породных отвалов (порядка 586 породных отвалов, большинство из которых расположены на административных территориях городов Донецк (144), Макеевка (118), Шахтерск (69) и Торез (67), из которых более 300 не имеют собственника или балансодержателя, часть из которых не рекультивированы или являются горящими) и золоотвалов, расположенных на территории ДНР. Общая площадь породных отвалов на территории Республики составляет 3,39 тыс. га. Площади отдельных породных отвалов

варьируются от 0,06 га до 88,11 га. Наиболее крупные – это породные отвалы шахты им. Засядько (88,11 га, г. Донецк), шахты «Ясиновская-Глубокая» (62,2 га, г. Макеевка), шахты «Щегловская-Глубокая» (60,8 га, г. Макеевка) и отвал ЦОФ «Чумаковская» (50,3 га, г. Донецк).

Проблемы накопления породы в отвалах решаются в каждом случае в зависимости от местных условий разработкой и внедрением соответствующих проектных решений. При ликвидации шахт стандартными процедурами по неэксплуатируемым шахтным отвалам являются рекультивация и озеленение.

Для действующих породных отвалов наиболее эффективным способом снижения или полной ликвидации отрицательного влияния на окружающую природную среду является их рекультивация, которая обеспечивает:

- снижение выбросов в атмосферу пыли и других вредных компонентов;
- обогащение атмосферного воздуха кислородом;
- предотвращение сноса мелкозема с поверхности отвала;
- создание целенаправленных антропогенных ландшафтов;
- изменение водного режима и качества грунтовых вод, прилегающих территорий в сторону их улучшения;
- улучшение микроклимата района и т.п.

К лимитирующим факторам при озеленении породных отвалов в Донбассе относятся, прежде всего, эдафические (почвенные): запечатанные отвалы – повышенная уплотненность, пониженная влагоемкость, каменистость, высокое загрязнение тяжелыми металлами, изменение кислотно-щелочного баланса в сторону подкисления, недостаток питательных элементов и др.

Вывод.

При ликвидации угольных шахт воздействие на компоненты окружающей природной среды не прекращается и в будущем могут появиться новые источники экологического риска. Разрабатывая проекты ликвидации шахт необходимо предусмотреть возможность реализации системы экологического мониторинга и комплекса природоохранных мероприятий, учитывающих все источники экологического загрязнения.

Вопрос техногенного воздействия при ликвидации угольных шахт является многогранным и требует комплексного подхода для его решения. Необходимость дальнейших исследований в области экологии и технологий ликвидации шахт обусловлена постоянными изменениями в природно-экологической обстановке и требует внимания со стороны ученых и управляющих органов.

Перечень ссылок

1. Министр угля и энергетики ДНР: настало время возрождать шахты Донбасса / [Электронный ресурс] // ТАСС : [сайт]. – URL:

<https://tass.ru/interviews/16624667?ysclid=m35fh0t2hq836545663> (дата обращения: 05.11.2024).

2. Ворхлик, И. Г., Стрельников, В. И., Ярембаш, И. Ф. Технология закрытия (ликвидации) угольных шахт: Учеб. пособие для вузов [Текст] / И. Г. Ворхлик, В. И. Стрельников, И. Ф. Ярембаш, – Донецк: ДонНТУ, 2004 — 238 с.

3. Молев М. Д., Масленников М. А., Занина И. А., Илиев А. Г. Оценка воздействия процессов ликвидации угольных шахт на экологическую ситуацию в российском донбассе / Молев М. Д., Масленников М. А., Занина И. А., Илиев А. Г. [Текст] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — Томск: Томский политехнический университет, 2018. – С. 148-156.

УДК 622.83

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ
ПОВЕРХНОСТИ, ВЫЗВАННЫХ ЗАТОПЛЕНИЕМ ГОРНЫХ
ВЫРАБОТОК ШАХТ В СТАДИИ ЛИКВИДАЦИИ**

Е. И. Харлова, В. В. Лихачева, Л. В. Дорошенко, М. В. Новиков
Автомобильно-дорожный институт (филиал)

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»
в г. Горловка;

А. Л. Кавера ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический
университет»,
г. Донецк;

katerina_harlova@mail.ru

Аннотация. В работе проведен анализ текущей ситуации на предприятиях угольного сектора в условиях массового закрытия шахт под влиянием экономических факторов и боевых действий. Рассмотрена одна из наиболее значимых проблем, порождаемых прекращением эксплуатации горных выработок, а именно: деформации и оседания земной поверхности.

Ключевые слова: техногенное воздействие, ликвидация шахт, затопление, горные выработки, провалы, деформации и оседания земной поверхности.

Abstract. The paper analyzes the current situation at coal sector enterprises in the context of mass closure of mines due to economic factors and hostilities. One of the most significant problems caused by the cessation of mining operations is considered, namely, deformation and subsidence of the earth's surface.

Keywords: technogenic impact, mine liquidation, flooding, mine workings, sinkholes, deformations, and subsidence of the earth's surface.

До 1917 г. в Донбассе работало 1604 шахты, причем 95% из них работали на глубинах до 100 м. К началу 40-х годов 20-го века в Донбассе имелось свыше 200 мелких наклонных шахт. В период восстановления затопленных во время войны шахт для быстрого получения угля в бассейне было заложено свыше 600 мелких наклонных шахт с горными работами на малых глубинах.

Небольшая глубина ведения горных работ и, как следствие, малое горное давление, а также применение целиков для поддержания кровли способствовали сохранению пустот в выработках старых шахт [1].

Таким образом, практически вся поверхность бассейна оказалась подработанной в разные периоды на малых глубинах (20-100 м). Более

того, имеется множество старых выработок, имеющих выход на земную поверхность, планы по которым отсутствуют или полностью утеряны.

В настоящее время массовое закрытие угольных шахт вызвало кардинальное перераспределение гидродинамического режима подземных вод, что явилось причиной активизации геомеханических процессов и привело к развитию процесса самоликвидации сохранившихся горных выработок и пустот в горном массиве и, соответственно, к провалообразованию на земной поверхности. Следствием этого является нарушение эксплуатационных способностей (вплоть до разрушения) зданий. Все это приводит к значительным рискам при ведении хозяйственной деятельности и представляет большую угрозу для жизни людей.

Таким образом, углепромышленные районы Донбасса столкнулись с весьма серьёзной экологической проблемой, являющейся следствием ликвидации угольных шахт, подтоплением подработанных территорий и образованием на них всевозможных повреждений.

Ключевым вопросом, имеющим важное народно-хозяйственное значение, является именно выделение провалоопасных зон и зон интенсивного деформирования земной поверхности [2] при активизации сдвижения породной толщи.

Исследование деформаций земной поверхности, вызванных затоплением горных выработок рассмотрим на примере горного отвода ликвидируемой шахты им. Н. А. Изотова (г. Горловка).

Шахта им. Н.А. Изотова сдана в эксплуатацию в 1941 г., восстановлена в 1944 г. Поле шахты расположено в западной части северного Донбасса, где породы карбона имеют сравнительно выдержанное северо-западное простирание по азимуту 209-305°, падению на северо-восток под углом 54-62° на верхних горизонтах и выполаживанием с глубиной до 44-52°.

По данным маркшейдерско-геологической службы Горловской дирекции по ликвидации шахт, на поле шахты им. Н. А. Изотова имеется 618 старых горных выработок, имеющих выход на земную поверхность в том числе: стволов вертикальных – 2; стволов наклонных – 23; шурфов наклонных – 593. Все выработки, имеющие выход на дневную поверхность ликвидированы.

В зонах максимальных деформаций земной поверхности на горном отводе шахты им. Н.А. Изотова расположены жилые дома и общественные здания г. Горловки, в основном, послевоенной застройки. Часть зданий построены без конструктивных мер защиты от влияния горных выработок. При затоплении горных выработок на глубинах менее 500 м произошла активизация процесса сдвижения

горного массива и земной поверхности, что привело к увеличению существующих и образованию новых повреждений в конструкциях зданий.

Характерной особенностью развития сдвижения и деформаций при разработке свит крутопадающих пластов является проявление на земной поверхности сосредоточенных деформаций в виде уступов и горизонтальных сдвигов, являющихся наиболее опасными деформациями для зданий и сооружений.

В зоне максимальных деформаций, в интервале выходов под наносы угольных отработанных пластов m_5-k_1 , расположено 91 здание. Из них 83 жилых; 6 общественных – здание кафе «Тополёк», здание церкви, общежитие Ясиноватского СМЭУ, здание станции Никитовка, два корпуса линейной поликлиники станции «Никитовка»; 2 производственных. Все эти здания были многократно подработаны и расположены в зонах уступообразования и в зонах опасных по провалам [3].

На рис. 1-2 и в табл. 1 приведены примеры результатов обследования.



а



б

Рис. 1. Повреждения жилого дома по Артёмовское шоссе, 95:
а – вид дома с главного и правого фасадов; б – трещины над окном
главного фасада



а



б

Рис. 2 – Повреждения жилого дома по ул. Якуба Коласа, 2:
а – вид дома со стороны главного и левого фасадов; б – трещины на

углу главного и правого фасадов

Таблица 1

Примеры конструктивной характеристики и результатов обследования зданий в зоне влияния горных работ шахты им. Н. А. Изотова

№ п/п	Адрес, назначение	Конструктивная характеристика	Результаты обследования
1	Артёмовское шоссе, 95 Жилой дом	Одноэтажный, построен в 1937 г. Простой формы в плане с размерами 12,0 м x 9,0 м, высотой 6,0 м. Фундаменты каменные, стены из золошлакобетона, штукатуренные, перекрытия деревянные, крыша многоскатная, кровля шиферная	Повсеместно на всех фасадах трещины раскрытием 1-5 мм, частично по заделке цементным раствором (рис. 1, а, б), максимальная трещина раскрытием до 25 мм над вторым справа окном главного фасада (рис. 1, б), заделана строительной пеной. Повсеместно замачивание низа стен и цоколя, повреждение штукатурного слоя стен и цоколя, разрушение отмостки, физический износ кровли. Первый и второй подъезды дома разрушены
2	Ул. Якуба Коласа, 2 Жилой дом	Одноэтажный, построен в 1950-х годах. Простой формы в плане с размерами 10,5 м x 9,0 м, высотой 4,0 м. Фундаменты каменные, стены из деревянного бруса, облицованные кирпичом, перекрытия деревянные, крыша скатная, кровля шиферная	Повсеместно на всех фасадах трещины раскрытием 1-3 мм, частично по заделке цементным раствором (рис. 2, а), максимальная трещина раскрытием до 20 мм по кирпичной облицовке на углу главного и правого фасадов (рис. 2, б). Местами замачивание низа стен и цоколя, повреждение штукатурного слоя цоколя, разрушение отмостки, физический износ деревянных фронтонов и кровли. Дом пострадал от осколочных попаданий

На основании анализа результатов проведённого обследования зданий, расположенных в зоне влияния горных работ шахты им. Н. А. Изотова, определен остаточный деформационный ресурс, характеризующий состояние здания.

Согласно [4, 5] остаточный деформационный ресурс определяют по степени деформаций зданий, в зависимости от максимального раскрытия трещин в стенах – основных несущих конструкциях зданий.

В табл. 2-3 приведены примеры установленных по результатам обследования значения степени деформаций и коэффициент остаточного деформационного ресурса.

Таблица 2

Коэффициенты остаточного деформационного ресурса для примеров зданий, расположенных в зоне влияния горных работ шахты им. Н. А. Изотова

№ п/п	Адрес	Размеры здания, м		Максимальное раскрытие трещин, мм	Степень деформаций здания	Коэффициент остаточного деформационного ресурса
		длина	высота			
1	Артёмовское шоссе, 95 Жилой дом	12	6	25	-	0
2	Ул. Якуба Коласа, 2 Жилой дом	10,5	4	20	-	0

Таблица 3

Определение допустимых показателей деформаций земной поверхности для зданий на горном отводе шахты им. Н. А. Изотова

№ п/п	Адрес здания	Размеры здания, м				Коэф. деф. ресурса для здания	Допустимый показатель деформации	Коэф. деф. ресурса для поверхности	Допустимый показатель деформации поверхности
		Длина здания	Длина отсека	Ширина	Высота				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Артёмовское шоссе, 95 Жилой дом	12	12	9	6	0	0	0	0
2	Ул. Якуба Коласа, 2 Жилой дом	10,5	10,5	9	4	0	0	0	0

Из анализа результатов обследования состояния зданий установлено, что для 9 зданий коэффициент деформационного ресурса равен 1,0; для 11 зданий – 0,75; для 33 зданий – 0,6; для 18 зданий – 0,45; для 10 зданий – 0,3; для 4 зданий – 0,2; для 4 зданий – 0,1 (ул. Якуба

Коласа, 4, 9, 10, 21) и для 2 – деформационный ресурс полностью исчерпан (Артёмовское шоссе, 95, ул. Якуба Коласа, 2).

Результаты выполненного обследования и определения технического состояния зданий на горном отводе шахты им. Н. А. Изотова могут быть использованы при определении расчётных и допустимых показателей деформаций земной поверхности для зданий, при определении оптимального уровня затопления горных выработок на основе прогноза активизации сдвижений и деформаций земной поверхности и при разработке рекомендаций по защите зданий и сооружений.

Вывод.

Исключение проседания и деформаций земной поверхности при мокрой консервации горных выработок является практически нерешаемой задачей. Единственно возможным вариантом остается поддержание эксплуатационного состояния зданий и сооружений, выделение средств на ремонт поврежденных зданий и сооружений; организация долговременной службы наблюдения за деформациями земной поверхности.

Перечень ссылок

1. Дрибан, В. А. Разработка системы прогноза обрушений земной поверхности над погашенными горными выработками / В. А. Дрибан, А. Н. Феофанов, И. В. Назимко // Проблеми гірського тиску: зб. наук. пр. – № 17.– 2009.– С. 22-57.
2. Дрибан, В. А. Мониторинг вертикальных горных выработок, имеющих выход на земную поверхность, при реструктуризации горных предприятий / В. А. Дрибан, Б. В. Хохлов // Материалы 3-й Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» Том 1. «Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве». – Донецк, 2017. – С. 41-46.
3. Отчет по работе «Прогноз активизации деформаций земной поверхности, вызванных затоплением горных выработок, с определением предельно допустимой глубины затопления и оценка безопасной эксплуатации зданий и сооружений в пределах горных отводов ликвидируемых шахт имени М. И. Калинина, им. Румянцева, «Кондратьевка», «Александр-Запад» и им. Н. А. Изотова в г. Горловка» / Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ). – Донецк, 2020. – 265 с.
4. Иофис, М. А. Аналитико-экспериментальный метод расчета сдвижений и деформаций / М. А. Иофис, В. И. Черняев. – Изд. вузов. Горный журнал, 1972. – № 11. – С. 56-59.
5. Сирик, А. Г. Прогноз геометрических параметров уступов на земной поверхности при разработке свит крутых пластов в Донбассе / А. Г. Сирик. – Автореферат дис. канд. тех. наук. – Л.: 1990. – 17 с.

УДК 69.059: 355.469.34

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОСТОВ

Д.В. Цой, И.Р. Саляхов, Д.В. Демидов
ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. В статье выделены основные преимущества и ограничения, связанные с использованием БПЛА при оценке технического состояния мостов.

Annotation. The article highlights the main advantages and limitations associated with the use of UAVs in assessing the technical condition of bridges.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, мостовое сооружение, техническое состояние

Keywords: unmanned aerial vehicle, bridge structure, technical condition

Одним из ключевых преимуществ использования беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) является их способность выявлять широкий спектр дефектов, деформаций, повреждений и разрушений элементов конструкции мостов, доступ к которым труднодоступен или опасен для традиционных методов инспекции.

Благодаря высокому разрешению камер и специализированным сенсорам, оборудование БПЛА позволяет обнаружить мельчайшие признаки несоответствий для элементов конструкции мостов (табл.1).

Таблица 1

Характеристика дефектов, деформаций, повреждений и разрушений элементов конструкции мостов, выявляемые оборудованием БПЛА

Несоответствия на поверхности, видимые невооруженным глазом	Несоответствия, имеющие скрытый характер
1	2
Трещины. БПЛА позволяют фиксировать размер трещины, расположение, глубину (с помощью 3D-моделей) и отслеживать динамику развития. Сколы и разрушения бетона. Визуально фиксируются повреждения защитного слоя бетона, что может указывать на оголение арматуры.	Деформации конструкций. С помощью фотограмметрии и лазерного сканирования создаются точные 3D-модели, позволяющие измерять прогибы, перекосы, сдвиги и другие геометрические изменения конструкции с высокой точностью.

Окончание табл. 1

1	2
Коррозия арматуры и других металлических элементов. Обнаруживаются пятна ржавчины, отслоения краски, деградация металлических частей моста. Высолы и разрушения кладки. Визуально фиксируются признаки капиллярного подсоса влаги и солевых отложений на бетонных и каменных поверхностях. Нарушение гидроизоляции. Тепловизионная съемка эффективно выявляет участки с повышенной влажностью и протечками.	Пустоты и расслоения в бетоне. Тепловизионная съемка может выявить аномалии в тепловом поле, указывающие на внутренние дефекты и неоднородность бетона. Осадки опор. Сравнение 3D-моделей, полученных в разное время, позволяет выявить даже незначительные осадки опор моста. Повреждения подводной части опор. БПЛА не могут погружаться, но могут обнаруживать изменения в водной среде вокруг опор, указывающие на потенциальные проблемы фундамента.

Применение БПЛА для оценки технического состояния мостов имеет значительные преимущества по сравнению с традиционными методами, но также имеет и свои ограничения, которые необходимо учитывать при планировании и проведении работ (табл.2).

Таблица 2

Преимущества и ограничения при оценке технического состояния мостов с использованием БПЛА

Преимущества	Недостатки и ограничения
1	2
Повышенная безопасность. Исключение необходимости нахождения персонала в опасных и труднодоступных местах (под мостом, на высоте, вблизи оживленного движения) значительно снижает риски несчастных случаев. Экономия времени и средств. Инспекции с БПЛА проводятся значительно быстрее, что сокращает затраты на персонал, спецтехнику и перекрытие движения. Доступ к труднодоступным местам. Высокая точность и детализация данных. Камеры высокого разрешения и специализированные сенсоры (тепловизоры, LiDAR) позволяют получать максимально полную и точную информацию о состоянии конструкции, выявлять мелкие дефекты.	Зависимость от погодных условий. Дождь, сильный ветер, туман или низкие температуры могут препятствовать полетам БПЛА или снижать качество собираемых данных. Правовые и регулярные ограничения. Необходимость получения разрешений на полеты, соблюдение правил воздушного пространства и зон ограничения полетов. Ограниченное время полета. Большинство БПЛА имеют ограниченное время работы от одной зарядки аккумулятора, что требует планирования множественных вылетов для крупных объектов.

Окончание табл. 2

1	2
Комплексный анализ. Возможность получения 2D-ортофотопланов, 3D-моделей, облаков точек и тепловых изображений для всесторонней оценки состояния моста. Объективность и документация. Данные, полученные с БПЛА, являются объективными и могут храниться для сравнения в будущем, что позволяет отслеживать динамику изменений и обосновать решения о ремонте. Минимальное влияние на дорожное движение. Большая часть инспекционных работ может проводиться без полного перекрытия движения или со значительным его ограничением, что уменьшает неудобства для пользователей дороги.	Скрытые дефекты. Некоторые внутренние дефекты, например, в глубоких слоях бетона, могут быть не обнаружены даже с помощью тепловизионной съемки без применения дополнительных неразрушающих методов контроля. Высокие начальные инвестиции. Стоимость профессиональных БПЛА и специализированного программного обеспечения может быть значительной. Квалификация операторов. Для эффективного и безопасного использования БПЛА, а также для корректной обработки данных требуется высококвалифицированный персонал.

Приведем примеры применения БПЛА для оценки технического состояния мостов, показывающие эффективность технологии [1 – 5].

Инспекция моста Stone Arch в Миннеаполисе (2018 г., США). Департамент транспорта штата Миннесота использовал БПЛА для обследования моста, имеющего историческую ценность. Собраны высокоразрешающие изображения, по которым выявились незначительные трещины и структурные недостатки, что позволило сократить затраты на инспекцию на 40% по сравнению с традиционными методами.

Обследование моста Уилинг в Западной Виргинии (2019 г., США). Департамент транспорта штата Западная Виргиния применил БПЛА для инспекции стареющего висячего моста. Возможности 3D-моделирования БПЛА позволили выявить области, требующие немедленного ремонта, что помогло предотвратить потенциальную аварию.

Инспекция моста Сан-Франциско – Оклэнд-Бэй (2020 г., США). Департамент транспорта штата Калифорния использовал БПЛА, которые обнаружили коррозию и другие проблемы более эффективно, чем традиционные методы, что позволило своевременно провести ремонтные работы.

Обследование Октябрьского моста РЖД (2020 г., Россия). Компания «ДронИнспекции» выполнила пилотный проект по обследованию двух пролётов моста с помощью БПЛА. Для работы использовались БПЛА DJI Mavic (для внешней инспекции) и противоударный БПЛА Flyability Elios 2

(для обследования труднодоступных элементов снизу и сбоку пролёта). В ходе инспекции проверялись болтовые соединения, качество окраски, места сварки элементов конструкции на предмет трещин и коррозии. Также была построена трёхмерная модель пролётов моста и собрана база данных для обучения искусственного интеллекта выявлению дефектов.

Диагностика моста через протоку р. Рачамайка (2024 г., Россия). ФАУ «РОСДОРНИИ» совместно с ФНПЦ АО «НПО «Марс» провели диагностику моста у села Попова Мельница. Для этого использовался программно-аппаратный комплекс, включающий БПЛА с функцией фото- и видеосъёмки. Собранные данные анализировались с помощью нейросетевых технологий для выявления дефектов и повреждений. По итогам опытной апробации было выдано заключение о состоянии мостового сооружения и рекомендации по дальнейшему развитию технологии.

Вывод. Приведенные примеры демонстрируют, что БПЛА применимы для мостов различных типов и в разнообразных географических и климатических условиях. Они способствуют не только повышению эффективности инспекций, но и формированию новой парадигмы в области управления инфраструктурой, основанной на высокоточных данных и проактивном подходе.

Перечень ссылок

1. Михеева Т.И., Михеев С.В. Головнин О.К. Система формирования полётных планов для беспилотного летательного аппарата // Труды Международной техн. конференции «Перспективные информационные технологии» (ПИТ-2017). Самара: Самарский научный центр РАН, 2017. С. 669-672. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29194820&ysclid=mnovcieivb952126500>.
2. Печенев Е.В., Кацубо П.А. Применение беспилотных авиационных комплексов при проведении технической разведки мостового перехода // Беспилотные аппараты «БПЛА–2024»: Сборник статей Международного молодёжного форума, Минск, 22–26 апреля 2024 г. Минск: БГТУ, 2024. С. 115–117 // URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/66342?ysclid=mnov905r4b591989691>.
3. Таргамадзе Р.Ч., Моисеев Д.В., Фам С.К. О рациональном выборе замкнутого маршрута полета легкого летательного аппарата с учетом прогноза ветра // Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина. 2012. № 3. С. 76-83. URL: <https://mai.ru/upload/iblock/c80/c80f2f25ea19434ce6f84cc8c6b24367.pdf?ysclid=mnovb68fow386775448>.
4. Фетисов В.С. Беспилотные авиационные системы. Терминология, классификация, современное состояние. Уфа: Фотон, 2014. 217 с. URL: <https://djvu.online/file/TvTNs8bEfF5NO?ysclid=mnovaadsv8773370515>.
5. Dorafshan S., Maguire M. Bridge inspection: human performance, unmanned aerial systems and automation // Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2018, July. Vol. 8. P. 443-476. URL: https://www.researchgate.net/publication/325272580_Bridge_inspection_human_performance_unmanned_aerial_systems_and_automation.

УДК 681.78

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГОРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ

Д.С. Чимирис, Л.Ю. Давыдова, Ф.А. Губарев
ФГАОУ ВО «СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Севастополь, Россия

Аннотация. В работе реализована методика и предложено оборудование для визуализации процесса контактного инициирования горения композитного образца малого объема на основе угольной пыли шахты имени А.А. Скочинского и нанопорошка алюминия.

Annotation. The paper presents a method and equipment for visualizing the process of contact initiation of combustion in a small composite sample based on coal dust from the A.A. Skochinsky mine and aluminum nanopowder.

Ключевые слова: визуализация, контактное инициирование, угольная пыль, лазерный монитор.

Keywords: visualization, contact initiation, coal dust, laser monitor.

Процессы горения могут быть адаптированы для конкретных приложений, требующих повышенной точности регулирования характеристик, контролируемых скоростей реакции и заданной чувствительности к воздействиям. В связи с этим наиболее остро встает вопрос об обеспечении производственной и экологической безопасности промышленных производств и отдельных технологических процессов, связанных с использованием реакций горения [1]. Следовательно, исследовательские и инженерные работы по созданию оборудования и методик проведения экспериментов по инициированию и поддержанию режимов горения не теряют своей актуальности, особенно для веществ, нашедших применение в качестве компонентов в промышленном производстве.

В данной работе будут представлены результаты применения лабораторной установки с двухканальной скоростной визуализацией на основе лазерного монитора и скоростных камер Evercam F 1000-16-C, аналогичной применяемой нами ранее для исследования быстропотекающих процессов горения высокоэнергетических материалов (ВЭМ) [2].

В качестве образцов для исследования в данной работе были использованы угольная пыль шахты им. А.А. Скочинского, нанопорошок алюминия и порошок пироксилиновый

флегматизированный. Образцы имеют разные размеры частиц, химический состав и различные характеристики. Исследования термохимических показателей угольного вещества показали, что пожаровзрывоопасность углей и их пылевидных отложений связана с метастабильностью макромолекул угольного вещества и возможностью образования наночастиц угольной пыли, которые обладают пирофорностью. Поэтому в угольных шахтах при существующей технологии добычи угля и развитии средств пожаро- и взрывозащиты всегда существует опасность спонтанного развития пожара или взрыва пылегазовой среды [3]. Пироксилиновые пороха имеют повышенную чувствительность к удару и трению, а также более низкие значения температуры вспышки и химической стабильности, поэтому широко используются в качестве энергоемкого компонента взрывчатого состава промышленного назначения. Наноразмерные частицы алюминия с однородным и варьируемым распределением по размерам и со строго контролируемыми свойствами более активные и селективные катализаторы для процессов нефтепереработки, нефтехимии и органического синтеза. В работе использовался нанопорошок алюминия, полученный методом электрического взрыва проводника.

Таким образом, значительный интерес представляет оценка поведения исследуемых веществ в условиях, способствующих их воспламенению и последующему горению при контактном инициировании. Предварительно было проведено тестирование горения составов по отдельности. Образец угольной пыли шахты им. А.А. Скочинского не удалось воспламенить под действием инициирующего воздействия. По результатам горения образца нанопорошка алюминия получена последовательность кадров, представленная на рисунке 1.

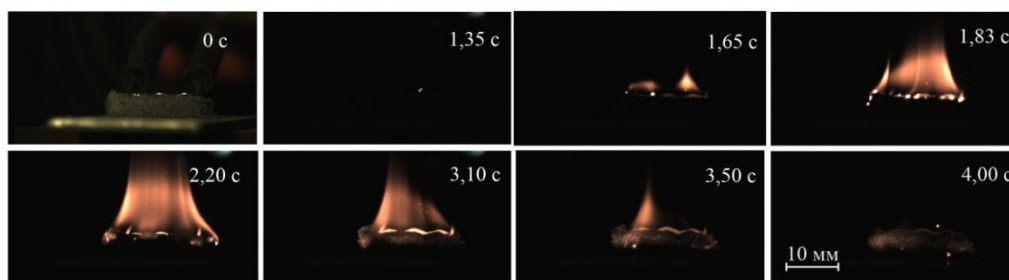


Рисунок 1 – Визуализация горения образца нанопорошка алюминия при контактном инициировании

По полученным данным, можно сделать вывод о том, что нанопорошок алюминия имеет период инициирования около 1,5 с,

развитие горения носит равномерный характер, в процессе выделяется значительное количество тепла, при сохранении первичной формы самого образца. Длительность полного цикла составляет примерно 4 с, следовательно, горение нанопорошка алюминия может использоваться в качестве дополнительного иницирующего воздействия при иницировании горения образца угольной пыли шахты им. А.А. Скочинского.

Порох пироксилиновый флегматизированный подвергался исследованию при контактном иницировании в моносоставе, кадры визуализации эксперимента приведены на рисунке 2. Анализ экспериментальных кадров показал, что состав имеет период иницирования около 2 с, при горении выделяется большое количество тепла, следовательно, этот состав можно рассмотреть в роли инициатора при воспламенении угольной пыли.

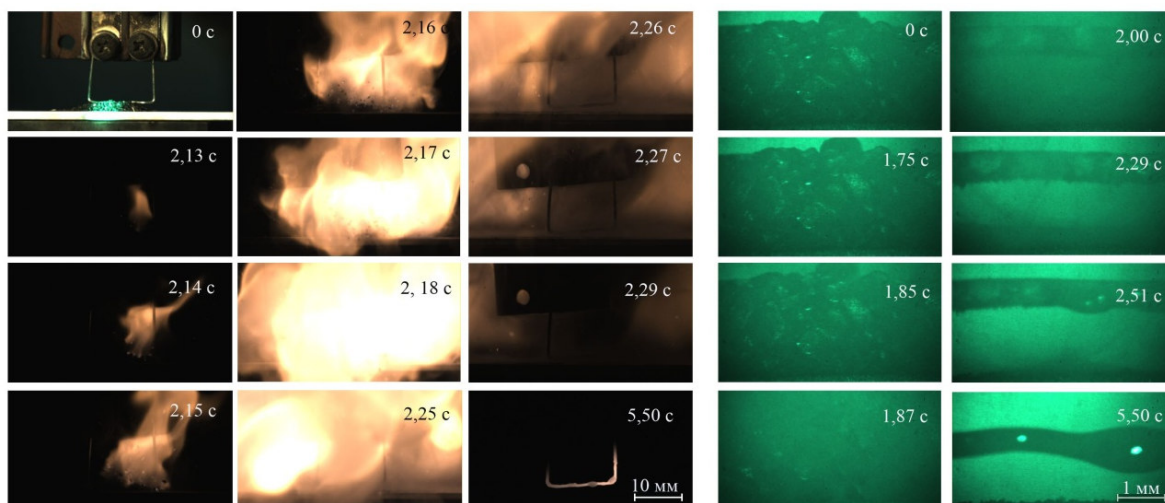


Рисунок 2 – Визуализация горения пороха пироксилинового флегматизированного при контактном иницировании

Заключительным этапом исследования являлось проведение экспериментов с двухсоставными образцами. При этом при подготовке и формовании образцов были реализованы два подхода. Смешивание в пропорции 1:1 для образцов «порох–угольная пыль» и формование образцов «нанопорошок алюминия-угольная пыль-нанопорошок алюминия». Кадры визуализации представлены на рисунках 3 и 4, соответственно. По итогам экспериментов можно сделать вывод, что образцы «порох–угольная пыль» ограниченно пригодны для дальнейшего исследования вследствие разлета продуктов горения пороха и не вступивших в реакцию частиц угольной пыли. Наиболее

информативным для дальнейшего исследования, по нашему мнению, является сценарий использования навесок нанопорошка алюминия в качестве дополнительного источника тепла для инициирования.

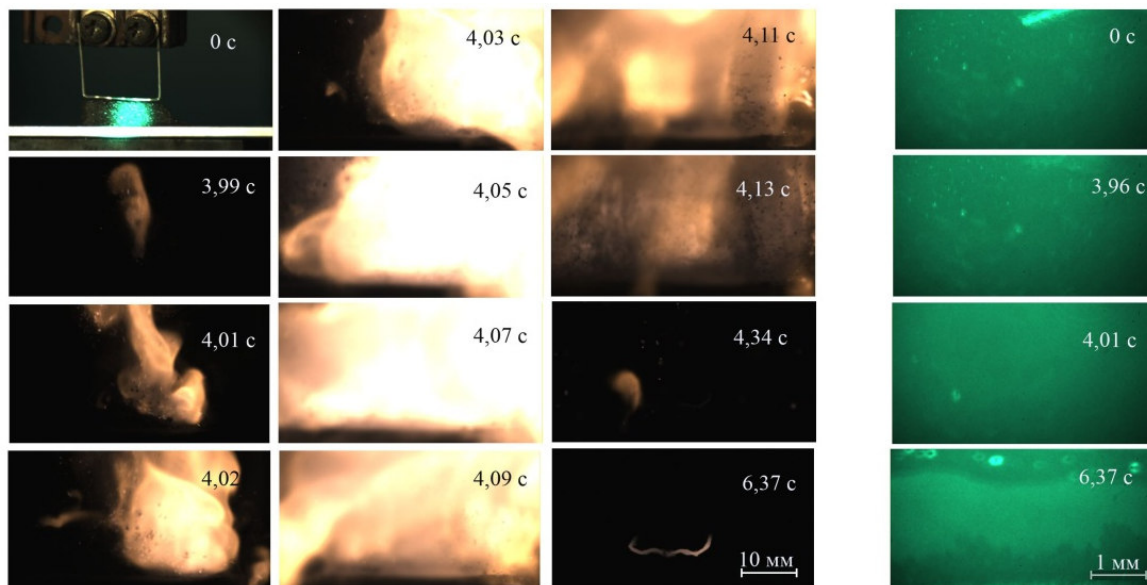


Рисунок 3 – Визуализация горения двухсоставного образца «порох – угольная пыль» при контактном иницировании

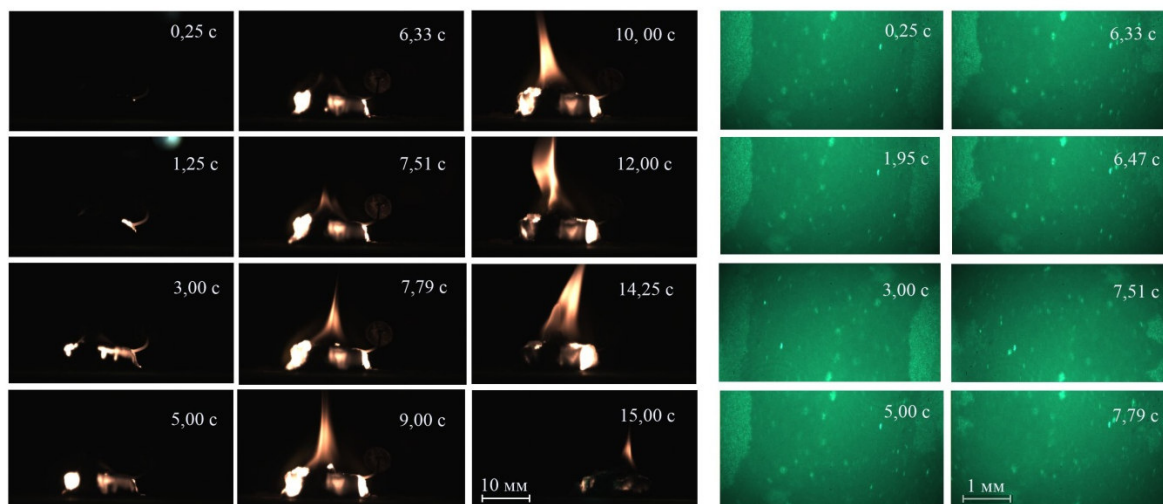


Рисунок 4 – Визуализация горения двухсоставного образца «алюминий – угольная пыль – алюминий» при контактном иницировании

Выводы

В работе предложена методика исследования на основе визуализации, что представляет возможность реализации мониторинга за изменением состояния поверхности составного образца в период иницирования и развития устойчивой

фазы горения с целью: выяснения явлений теплообмена; установления периода индукции, установления критических параметров воспламенения. На основе анализа данных возможно составить представление об особенностях протекания процессов горения угольной пыли, выделить этапы и определить длительность временных интервалов, характеризующих динамику процесса.

Визуализация поверхности с использованием лазерного монитора позволяет наблюдать неоднородность распространения горения по поверхности образца и образование продуктов горения и участков с частичным прогоранием. Визуализация в собственном свечении позволяет определить скорость перемещение фронта горения, изменение интенсивности свечения и размер области разлета продуктов горения.

На данном этапе исследования скорость горения определялась путем анализа изображений авторами статьи. Перспективным представляется автоматизированная обработка последовательностей изображений, в том числе на основе нейросетевых технологий.

Авторы выражают благодарность Калякину С.А., профессору кафедры строительства зданий, подземных сооружений и геомеханики ДонНТУ за предоставленные образцы угольной пыли и пороха.

Перечень ссылок

1. Ермолаева, В. А. Особенности технологий, использующих реакции горения / В. А. Ермолаева // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 4(22). – С. 10-15. – EDN TNIBSF.
2. Gubarev F.A., Davydova L.Yu., Tsiron M.S. Two-channel high-temperature combustion imaging system based on high-speed cameras EVERCAM F 1000-16-C // Scientific Visualization. – 2025. – Vol. 17, No. 2. – P. 44–56. DOI: 10.26583/sv.17.2.04.
3. Калякин, С. А. Пожаровзрывоопасность отложений угольной пыли / С. А. Калякин, Ю. Ф. Булгаков // Горноспасательное дело. – 2012. – № 1(49). – С. 14-27. – EDN WAEAPN.

УДК 622.121:533.17

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ШАХТНОГО ДЕСОРБОМЕТРА

Я. В. Шажко, А. Л. Касьяненко, К. И. Соколов, Т. В. Борщ

ФГБНУ «Институт физики горных процессов»

г. Донецк

Аннотация. Рассмотрены основные недостатки традиционных методов оценки газоносности угольных пластов. Основное внимание уделено конструкции и принципам работы шахтного десорбометра, выявлены недостатки, а также направления дальнейшего усовершенствования десорбометрического устройства.

Annotation. The main disadvantages of traditional methods for assessing the gas content of coal seams are considered. The main attention is paid to the design and principles of operation of the mine desorbometer, shortcomings are identified, as well as directions for further improvement of the desorbometric device.

Ключевые слова: метан, угольный пласт, десорбометр, экспресс-метод, газоносность, массоперенос.

Keywords: methane, coal seam, desorbometer, express method, gas content, mass transfer.

Задача по оценке распределения метана по углепородному массиву и с учетом возможности образования локальных зон с повышенным внутрипоровым давлением до сих пор не решена. До сих пор является спорным вопрос о соотношении различных фазовых состояний метана в угольном веществе. Одна из характеристик состояния метана – энергия активации, позволяющая сделать заключение об энергии связи и растворимости молекул метана в углях различной степени углефикации [1].

К трудностям получения информации о распределении метана по элементам структуры угля следует отнести также неопределённость, связанную с отсутствием физически обоснованных методик обнаружения и определения объёма закрытых пор. В основу метода расчета эффективных параметров диффузии положен принцип определения количества метана в газонасыщенных образцах угля двух фракций в процессе десорбции метана, которые позволяют оценивать структурные изменения в угле [2].

Все существующие методы определения содержания метана в угле основаны на фиксировании интенсивности выделения газа из выбуренной пробы угля. Это позволяет получить следующие характеристики угля: показатель содержания десорбируемого метана в

угле – индекс десорбции. Содержание десорбируемого метана – это количество метана, содержащегося в 1 т угля, которое может выделиться при давлении окружающей атмосферы 0,1 МПа. Если эта величина составляет более 9 м³/т, угольный пласт может обладать достаточной потенциальной энергией, чтобы при соответствующих свойствах угля произошел внезапный выброс угля и газа [3]. Следует отметить, что стоимость противовыбросных мероприятий высока, как высока и стоимость мероприятий по ликвидации последствий внезапного выброса угля и газа.

В соответствии с действующим нормативным документом [4], методология измерения содержания метана в угольных пластах (на основе отобранных проб и образцов угля), включает два типа прямых методов измерения: обычная десорбция (медленная десорбция) лабораторных проб угля, быстрая десорбция лабораторных проб угля. Разница между ними заключается во времени, отведенном для десорбции газа перед окончательным дроблением, и в размере и форме образца. После проведения измерений в десорбционной камере формируют отчет об измерении содержания метана угольного пласта выглядит следующим образом. Однако у данной методологии есть недостатки: метод базируется на предположении, что кинетика десорбции газа образцами угля при измерениях в шахте и измерениях в лаборатории идентичны; метан начинает активно десорбироваться из образца угля, как только он извлечен; приходится косвенно оценивать потерянный объем газа, который рассчитывается путем экстраполяции данных, что влияет на достоверность конечных результатов оценки.

Среди возможных подходов к решению данных недостатков является создание экспресс-методов и усовершенствование технических устройств, которые позволяют определять давление и газоносность угля без отбора проб, прямо в пластовых горных выработках.

В ФГБНУ «Институт физики горных процессов» в начале был разработан экспресс-метод определения давления и количества метана в угольных пластах [5-7], затем устройство прошедшая несколько этапов усовершенствования [8-9], которая практически реализует экспресс-методику. Внешний вид первого варианта десорбметрического устройства ДС-01, показан на рисунке 1а, и более совершенный вариант ШИММ (Шахтный измеритель массопереноса метана), показан на рисунке 1б.

а)

б)



Рисунок 1 – Внешний вид десорбометра: а) ДС-01; б) ШИММ

Базовой основой для создания 4-х контейнерного шахтного измерителя массопереноса метана (ШИММ) составила разработанный в Институте и прошедший приемочные испытания десорбометр ДС-03 [9]. Конструктивное исполнение устройства позволяет использовать её в подземных выработках шахт, опасных по газу и угольной пыли. Встроенный электронный блок, система коммуникаций и управления операциями позволяет определять давление и объем метана в пласте, сохранять результаты измерений в долговременной памяти и передавать их на поверхность по системе УТАС в режиме реального времени.

Десорбометр автоматически производит определение количества и давления метана в пласте в месте отбора проб, записывает их величины в энергонезависимую память и выводит результаты измерений на свой дисплей. Выбор конструкции элементов десорбометра, его электронной системы был подчинен требованиям максимальной реализации новой методики диагностики системы уголь–метан и безопасной работы прибора в шахтных условиях.

Суть экспресс-метода определения давления и газоносности угольных пластов состоит в сравнении данных шахтных измерений десорбции метана из угля в постоянный объём камеры с данными предварительного тестирования пласта (десорбционным паспортом), которые заложены в электронный блок памяти десорбометра.

Десорбционный паспорт угольного пласта — это экспериментально установленная информация (в цифровом или графическом виде) о корреляции между интенсивностью эмиссии метана из угля, пластовым давлением метана и его объёмом в угле. Составление десорбционного паспорта каждого угольного пласта и

программирование осуществляются в настоящее время только в Институте физики горных процессов.

Методика и десорбومتر испытаны на шахтах Донбасса и успешно прошли приемочные испытания в условиях особоопасного по внезапным выбросам угольного пласта h_6' «Смоляниновский» шахты им. А.А. Скочинского [10], пример графического вида десорбционного паспорта, разработанного для угольного пласта h_6' (ниша 2-ой зап. лавы УПЦП) представлен на рисунке 2.

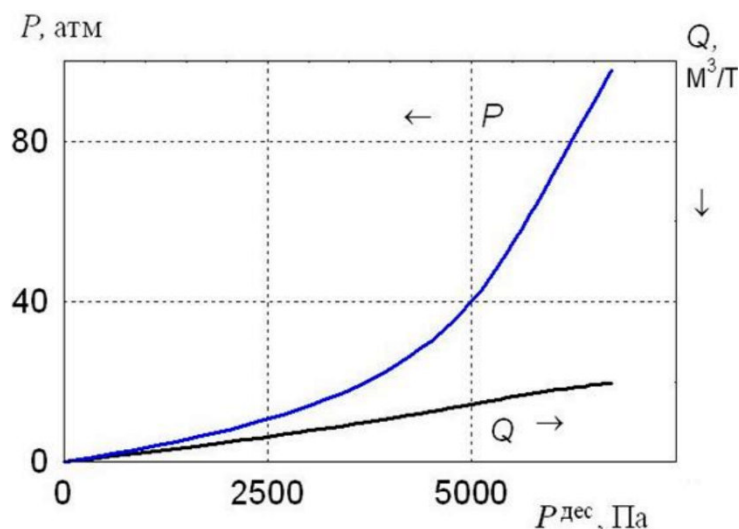


Рисунок 2 – Десорбционный паспорт угля шахты им. А.А. Скочинского, пласта h_6' «Смоляниновский» (ниша 2-ой зап. лавы УПЦП)

Достоверность получаемых результатов по измерению пластового давления и содержания метана в угле зависит от тщательности и правильности отбора угольных проб, загружаемых в десорбومتر. С целью исключения возможного искажения результатов измерений, проводимых десорбометром, по результатам шахтных экспериментов сформулированы порядок отбора проб и методика выполнения этих работ. Разработанные требования были внесены в руководство по эксплуатации десорбометра.

Вместе с тем, можно выделить ряд аспектов, требующих дальнейшего усовершенствования, как с точки зрения уточнения экспресс-методики, так и конструктивной модернизации.

Так изначально планировалась разработка 5-ти контейнерного измерителя по принципу первые 3 кюветы для измерения количества и давления метана и 2 для определения кинетики изменения коэффициента массопереноса. Исходя из технических характеристик

разрабатываемого и в связи с уменьшением веса опытного образца, в ущерб точности измерений, остановились на 4-х контейнерном измерителе с функцией измерения: контейнеры 1-3 давление и количество метана и 1-2 и 3-4 измерение эффективного коэффициента массопереноса.

Следует отметить, что в разработанной экспресс-методике не учитывается ряд влияющих факторов, таких как: влажность угля, которая влияет на сорбционную способность угля; температура окружающей среды из-за теплового расширения или сжатия приведёт к дополнительной погрешности, также конструкция прибора должна минимизировать теплообмен пробы угля с окружающей средой.

Также необходимо устранить зависимость от человеческого фактора – любая неточность в требованиях по эксплуатации десорбметра (например, время отбора, размер частиц пробы) напрямую влияет на конечный результат.

Для того, чтобы исключить предварительное тестирование пласта в лабораторных условиях разработан способ [11], включающий отбор пробы угля в виде штыба из угольного пласта с измерением его температуры и определением давления метана в угольном пласте, согласно способу, с помощью формулы:

$$P_{nl} = \frac{P_k \cdot V_k}{\gamma \cdot V_y \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{t_o}{t_o + t}} \right]},$$

где: P_k – давление метана в измерительной камере;

V_k – объем измерительной камеры;

V_y – объем, занимаемый угольным образцом;

γ – пористость угля;

t_o – время извлечения угольного штыба из пласта;

t – время от момента герметизации камеры до окончания процесса измерения,

Такое техническое решение позволит упростить процесс измерения и повысить точность полученных результатов.

Таким образом, с учётом вышесказанного, устранение недостатков должно быть направлено на корректировку экспресс-метода и совершенствование конструкции десорбметра, что позволит получить более достоверные результаты.

Авторы выражают благодарность доктору техническому наук, профессору Старикову Геннадию Петровичу за помощь в подготовке материалов статьи.

Перечень ссылок

1. Смирнов, В. Г. О влиянии форм связи метана с угольной матрицей на газодинамические явления, возникающие при подземной разработке угольных пластов / В. Г. Смирнов, В. В. Дырдин, З. Р. Исмагилов [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2017. – № 1. – С. 34-41.
2. Стариков, Г. П. Определение газоносности и давления метана в угольных пластах / Г.П. Стариков, Я. В. Шажко, В. В. Завражин и др. // Геотехническая механика. – 2013. – № 112. – С. 118-128.
3. Шажко, Я. В. Обоснование параметров способа оценки метаносности угольных пластов в призабойной зоне: специальность 05.15.09 «Геотехническая и горная механика»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шажков Ярослав Витальевич. – Донецк, 2013. – 171 с.
4. ГОСТ Р 70830-2023. Горное дело. Метод определения содержания метана в угольных пластах : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден приказом Росстандарта от 26.07.2023 г. № 580-ст : дата введения 2023-12-01 // Кодекс : электрон. фонд правовых и норматив.-техн. документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1302384813> (дата обращения: 10.04.2026).
5. Алексеев, А. Д. Распределение метана в угле и метод экспресс диагностики метановой подсистемы в угольном пласте / А. Д. Алексеев, В. А. Васильковский, Г. П. Стариков и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № S11. – С. 273-292.
6. Шажко, Я. В. Экспресс-метод определения давления и количества метана в угольных пластах / Я. В. Шажко // Физико-технические проблемы горного производства. – 2011. – № 14. – С. 60-67.
7. Стариков, Г. П. Метод построения десорбционных паспортов для диагностики давления метана в угольных пластах и их газоносности / Г. П. Стариков, Я. В. Шажко, Н. В. Хашеватская и др. // Научный вестник НИИГД Респиратор. – 2015. – № 1(52). – С. 168-173.
8. Пат. 96884 Украина. Устройство для измерения давления и газоносности угольного пласта / А. Д. Алексеев, В. А. Васильковский, Г. П. Стариков и др. Заявитель и патентообладатель Институт физики горных процессов НАН Украины. – опубл. 12.12.2011, Бюл. №23.
9. Пат. 2571769 Российская Федерация. Устройство для измерения эффективной диффузии газа в угле / В. Г. Гринев, Г. П. Стариков, В. В. Завражин и др.; заявитель и патентообладатель Институт физики горных процессов НАН Украины. – опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.
10. Стариков, Г. П. Применение интегральной десорбметрии для диагностики параметров массопереноса метана в угле / Г. П. Стариков, В. А. Васильковский, В. В. Завражин и др. // Физико-технические проблемы горного производства. – 2010. – вып. 13. – С. 66-73.
11. Пат. 2632591 Российская Федерация. Способ определения параметров массопереноса метана в угольном пласте / Г. П. Стариков, О. Г. Худолей, Я. В. Шажко и др.; заявитель и патентообладатель Прокофьева Лариса Николаевна. – опубл. 06.10.2017, Бюл. № 28.

УДК 691.32:004.9

3D-ПЕЧАТЬ БЕТОНОМ: АРХИТЕКТУРА, АЛГОРИТМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Щербак М.М.

ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», г. Донецк, ДНР

Аннотация. Проанализирована программная экосистема строительной 3D-печати бетоном. Рассмотрены алгоритмы непрерывной трассировки и архитектура управляющих прошивок. Показано, что разделённая архитектура повышает точность и снижает время печати до 50%.

Annotation. The software ecosystem of construction 3D concrete printing is analyzed. Algorithms of continuous path planning and firmware architecture are considered. It is shown that separated firmware increases accuracy and reduces printing time up to 50%.

Ключевые слова: 3D-печать бетоном, G-код, непрерывная трассировка, управляющая прошивка, аддитивное строительное производство, цифровой двойник.

Keywords: 3D concrete printing, slicer, G-code, continuous tracing, control firmware, additive construction manufacturing, digital twin.

3D-печать бетоном (3D Concrete Printing, 3DCP) прошла путь от лабораторных экспериментов до более чем 130 крупных проектов к 2024 г. [1]. Строительный принтер — это киберфизическая система, где точность движения массивного экструдера должна строго согласовываться с реологией бетона. Остановка подачи смеси создаёт «холодный шов», снижающий прочность конструкции [2], поэтому программное обеспечение здесь принципиально отличается от FDM-печати пластиком.

Цель работы — проанализировать программную экосистему 3DCP, выделить ключевые алгоритмы и архитектурные решения, а также наметить направления развития.

1. Структура программных средств

Технологическая цепочка включает слайсер, хост и прошивку [2]. Слайсер преобразует 3D-модель в G-код, хост передаёт команды на контроллер, прошивка формирует электрические сигналы для двигателей и насосов. В бетонной печати G-код расширяется управлением насосами, а кинематическая задача дополняется синхронизацией скорости сопла и объёмного расхода смеси [3].

Правило пропорциональности (объёмный расход = скорость $\times$ сечение нити) накладывает жёсткое условие согласования: при ускорении без увеличения подачи возникает образование суженного участка стены, при замедлении с избыточной подачей — образование локальных утолщений стены. Нелинейное поведение бетона (тиксотропия, изменение вязкости) требует программной коррекции.

2. Алгоритмы непрерывной трассировки

В отличие от FDM-печати, где допустимы холостые проходы, в 3DCP сопло должно проходить слой без разрывов. Попытки прямого переноса стандартных стратегий ведут к дефектам [2]. Решения делятся на два семейства:

-Графово-оптимизационные методы. Геометрия слоя представляется графом, ищется обход всех рёбер без пропусков. В работе [4] применён муравьиный алгоритм, сокративший холостой ход до 66,7 % по сравнению с типовыми подходами.

-Скелетно-геометрические методы. Вычисляется медиальная ось (скелет) области, которая естественно даёт непрерывную кривую. Для сложных форм со множеством проёмов скелетизацию комбинируют с алгоритмом Дейкстры. Скелетные методы не требуют сложной настройки и гарантируют непрерывность, графово-оптимизационные перспективны для уникальных форм.

3. Архитектура управляющих прошивок

В настольных принтерах распространена монолитная прошивка Marlin, где всё делает один контроллер. Для строительных принтеров с тяжёлой головкой (до 60 кг) это приводит к вибрациям и неровностям из-за рывков при переключении сегментов траектории. Разделённая архитектура Klipper выносит сложные вычисления на внешний компьютер (Raspberry Pi), а микроконтроллер генерирует импульсы строго периодически, достигая субмикронной точности [5]. Эксперименты показали сокращение времени печати до 50 % при сохранении точности и улучшении качества поверхности [5]. Настройка параметров компенсации вибраций без перекомпиляции упрощает адаптацию под разные смеси.

4. Направления совершенствования

Согласно проведённым исследованиям [3], перспективно внедрение замкнутых систем с датчиками расхода непосредственно перед соплом и ПИД-коррекцией подачи насоса, что компенсирует нестабильность реологии бетона. Также перспективна интеграция принтера с BIM-моделью через цифровой двойник [5]. BIM передаёт слайсеру параметры слоя с указанием марок бетона и закладных деталей, а двойник сопоставляет координаты уложенной нити с

проектом, корректируя последующие слои [5]. Это превратит 3DCP в стандартное звено индустриального строительства.

Выводы

Программная экосистема 3D-печати бетоном отличается от FDM-печати необходимостью непрерывной трассировки (скелетные либо графовые алгоритмы, дающие до 66,7 % сокращения холостых ходов), синхронизацией подачи смеси со скоростью сопла и применением разделённой архитектуры прошивки (Klipper), обеспечивающей выигрыш в точности и качестве. Дальнейшее развитие предполагает замкнутые контуры регулирования расхода и интеграцию с BIM через цифровые двойники.

Перечень ссылок

- 1.Khoshnevis B., Bekey G. Automated construction using contour crafting // Proceedings of the 19th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC). – Gaithersburg, USA, 2002. – P. 365–372.
- 2.Al-Tamimi A.K., Alani M. A review of slicing methods and path planning strategies for large-scale concrete 3D printing // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 44. – P. 1–15.
- 3.Gosselin C., Duballet R., Roux P., Gaudillière N., Dirrenberger J., Morel P. Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete — a new processing route for architects and builders // Materials & Design. – 2016. – Vol. 100. – P. 102–109.
- 4.Ma Z., Wan W., Song L., Liu C., Liu H., Wu Y. An Approach of Path Optimization Algorithm for 3D Concrete Printing Based on Graph Theory // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12, Issue 22. – P. 1–13.
- 5.Ghinea M., Niculescu A.C., Rosca B.D. Enhancing FDM Rapid Prototyping for Industry 4.0 Applications Through Simulation and Optimization Techniques // Materials. – 2025. – Vol. 18, Issue 19. – P. 1–14.

УДК 622.817.77

**ПОЧВЕННЫЙ ВОЗДУХ В РАЙОНЕ
ЛИКВИДИРОВАННЫХ ШАХТ**

Е.А. Яковенко¹, Р.А. Тишин^{2,3}, А.Л. Кавера³,
М.Г. Шадрина³, А.П. Коробов³

¹ГБУ «Макеевский научно-исследовательский институт по ведению работ в горной промышленности» (МакНИИ), г. Макеевка, ДНР

²ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России

³ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. *Исследован процесс выделения шахтных газов на земную поверхность горных отводов ликвидированных шахт для повышения уровня безопасности по фактору выделения шахтных газов на поверхность.*

Abstract. *The process of mine gas release to the earth surface of mine cuts of decommissioned mines is investigated to increase the level of safety by the factor of mine gas release to the surface.*

Ключевые слова: *ликвидированные шахты, земная поверхность, метановыделение, почвенный воздух.*

Keywords: *decommissioned mines, earth surface, methane emission, and soil air.*

В настоящее время продолжается ликвидация целого ряда угольных шахт ДНР, сопровождающаяся интенсивным затоплением нижних горизонтов водой. Ликвидируемые шахты создают серьезные проблемы для объектов, расположенных над отработанными шахтными полями. Это обусловлено тем, что накапливающийся в этих шахтах газ, постепенно заполняя выработанные пространства вплоть до верхнего горизонта, начинает проникать по трещиноватым породам и ликвидированным горным выработкам (стволам, шурфам, сбойкам) на земную поверхность [1, 2, 3].

Газовыделение из закрытых шахт обнаруживается в течение от одного года до десятилетий после прекращения принудительного проветривания и засыпки стволов. Так в г. Макеевке выделяющийся метан взорвался в подвале жилого дома через 3 года после снижения интенсивности проветривания выработанных пространств ликвидируемой шахты им. С. Орджоникидзе и т.д.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что своевременное выявление опасных зон и применение мер по предотвращению неорганизованного выхода газа на поверхность позволяет не допустить взрывов, вспышек и опасных загазований зданий и сооружений [3, 4, 5].

Проведён анализ материалов с целью определения горно-геологических и горнотехнических условий ликвидированных шахт (Таблица 1).

Таблица 1

Анализ горно-геологических и горнотехнических условий ликвидируемых шахт

Наименование шахты и время закрытия	Антиклинали (а) и синклинали (с)	Газоносность пластов, м ³ /т.с.б. м.	Отложения свит. Очистные работы велись на пластах	Глубина предполагаемой метановой зоны, м
1	2	3	4	5
Шахта «Максимовская» 1998 г.	Максимовской(а), Ирминской(с) и Ирминско-Паркомовской(а)	—	C ₂ ³ , C ₂ ⁴ h ₂ ^в , h ₆ , h ₇ , h ₁₀ ¹ , h ₁₁ .	500-680
«Центральная-Ирмино» 1995 г.	Первомайской (а), Ирминской (с)	—	C ₂ ³ , C ₂ ⁴ , C ₂ ⁵ , C ₂ ⁶ h ₆ , h ₇ , h ₁₁ , k ₃ ^в , k ₄ , k ₅ , k ₆ , k ₇ , k ₇ ⁴ , k ₈ , l ₃ , l ₄ , l ₆ и l ₈ ^{в+в} .	300-400
Шахта им. Ильича 1996 г.	Кадиевской (а), Ильичевской (с) и Ильичевской (а)	—	C ₂ ⁵ , C ₂ ⁶ и C ₂ ⁷ k ₂ ^в , k ₃ ^в , k ₅ , k ₆ , k ₇ ^в , k ₇ ⁴ , k ₈ , l ₂ ¹ , l ₃ , l ₄ ^в , l ₆ и m ₃	200-250 300-350
Шахта «Брянковская» 1996 г.	Ильичевской (а), Криворожской (с) и Гончаровской (Криворожской) (а), Павловскую (с)	18-25	C ₂ ⁴ , C ₂ ⁵ , C ₂ ⁶ и C ₂ ⁷ . k ₃ ^в , k ₅ , k ₆ , k ₇ , k ₇ ¹ , l ₁ ¹ , l ₂ ¹ , l ₃ , l ₄ , l ₅ , l ₆ ^{в+в} , l ₇ , m ₃ и m ₄	200 – 600
Шахта «Замковская», 1995 г.	Анненской антиклинали	—	C ₂ ⁵ k ₄ , k ₅ , k ₅ ¹ , k ₆ и k ₇ ^{1в}	150-250

Расчёт удельного метановыделения с поверхности земли определяли по формуле (1):

$$I_{уд} = \frac{0,01 \cdot Q_k \cdot C_k}{S_k}, \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{м}^2, \quad (1)$$

где Q_k – расход газовой смеси, отсасываемой из-под колпака, м³/с;

C_k – содержание метана в отсасываемом газе, об%;

S_k – площадь, накрываемая колпаком, м².

Для определения участков земной поверхности, опасных по выделению шахтных газов проводили работы в следующем порядке (рис. 1).

плотно закрывали пробкой (5). К штуцеру присоединяли трубка с запорным устройством (8). При заполнении воздухоотборного сосуда газовой смесью (9) производили измерения содержания газа или отбор проб для лабораторного анализа.

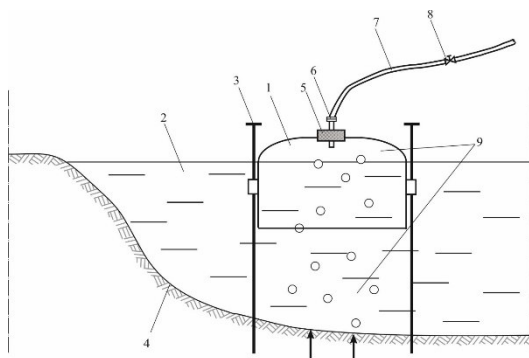


Рис. 2. Воздухоотборное устройство для измерения содержания метана и углекислого газа, выделяющегося на поверхность с водного покрова:

1 – прозрачный воздухоотборный сосуд; 2 – вода; 3 – фиксаторы; 4 – грунт (дно); 5 – крышка; 6 – штуцер; 7 – шланг; 8 – запорное устройство; 9 – газовая смесь

В местах угрожаемого участка, где зафиксированы косвенные признаки выделения метана, обязательно отбирали пробы почвенного воздуха.

Содержание метана и углекислого газа в почвенном воздухе и в газоотводящих трубах измеряли шахтными интерферометрами ШИ-11 и ШИ-12. Для определения компонентного состава выходящего газа отбирались пробы «мокрым» способом на полный анализ, который производился на хроматографе «Газохром-3101». Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сведения о газовыделении и местах расположения опасных зон

№ п/п	Шахта	Место выделения газа на поверхность	Интенсивность газового потока, л/мин·м ²	Содержание в почвенном воздухе, об. %	
				CH ₄	CO ₂
1	2	3	4	5	6
1.	«Максимовская»	из выработанных пространств пластов h_{10}^I и h_{11} в замковой части Максимовской антиклинали	до 1,4	до 31,3	до 17,2
2.	«Центральная-Ирмино»	из выработанных пространств пласта l_6 в замковой части Первомайской антиклинали	до 0,85	до 25,5	до 24,8
3.	Имени Ильича	из подработанных угольных пластов в зоне пересечения Ильичевского и Осевого надвигов.	до 0,05	до 28,0	до 13,0
4.	«Брянковская»	из выработанных пространств пласта k_7 в замковой части Криворожской антиклинали.	до 0,6	до 37,0	до 13,6
5.	«Замковская»	из разгруженных угольных пластов в зоне затухания надвига С-Д.	до 0,02	до 37,5	до 7,0

Измерения дебита газа по газоотводящим трубам выполнялись замером скорости его истечения из труб. Скорость газового потока измерялась анемометром АПР-2 со специальной насадкой.

ВЫВОДЫ

Основные причины выделения вредных газов на земную поверхность, в здания и сооружения – прекращение проветривания и затопление выработок водой при ликвидации или консервации шахт. Вредные газы вытесняются на земную поверхность, проникают в погреба, здания и сооружения, представляя опасность для жизнедеятельности людей. Приведено деление участков земной поверхности на опасные зоны по выделению вредных газов.

Перечень ссылок

1. НИР «Переработать инструкцию «Защита зданий от проникновения метана». / «Проведение исследований состава почвенного воздуха, состава газов, выделяющихся в районе объектов ликвидируемых шахт, интенсивности потоков шахтных газов на поверхность. Совершенствование методики выявления участков земной поверхности, опасных по выделению шахтных газов». – МакНИИ, 2019. – 28 стр.
2. Кузьмин Д.В. О метановыделении за пределами выемочных участков из старых ранее отработанных этажей и горизонтов. / Д.В. Кузьмин, Н.И. Силаев, В.И. Михалков // Сб. «Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах», вып. 8, Макеевка-Донбасс, – 1972 г.
3. Шлютер Р. Каптаж скважинами шахтного метана в районах остановленных горных работ / Р. Шлютер, М. Камински // Глюкауф -№1(2), –2006, – с. 38-42.
4. "РД 05-313-99. Инструкция о порядке контроля за выделением газов на земную поверхность при ликвидации (консервации) шахт" (утв. Постановлением Госгортехнадзора РФ от 11.10.1999 № 72).
5. Симонов А.М. Контроль за выделением вредных газов на земную поверхность / А.М. Симонов, Карнаух Н.В., Агарков А.В., Захлебин В.В. // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2021. – № 1(58). – с. 94 – 101.

УДК 622.817.77

ДЕГАЗАЦИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПОЖАРЕ

Е.А. Яковенко¹, Р.А. Тишин^{2,3}, А.Л. Кавера³,
С.Р. Тишина³, А.П. Коробов³

¹ГБУ «Макеевский научно-исследовательский институт по ведению работ в горной промышленности» (МакНИИ), г. Макеевка, ДНР

²ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России

³ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. Проведен анализ мест возникновения пожара на угольных шахтах и исследован способ по управлению дегазацией для локализации и тушению пожара в горной выработке.

Abstract. The analysis of fire occurrence sites in coal mines was carried out, and a method for managing degassing to localize and extinguish fires in mine workings was investigated.

Ключевые слова: дегазация, газовые смеси, воспламенение, метановоздушная смесь, трубопровод.

Keywords: degassing, gas mixtures, ignition, methane-air mixture, pipeline.

Газотранспортные системы угольных шахт имеют специфические особенности в связи с расположением большей её части в горных выработках. Это приводит к повышенной опасности возгорания транспортируемой газовой смеси в трубопроводах, особенно при подземных пожарах и других авариях в горных выработках газовых шахт [1].

Анализ мест возникновения пожара на угольных шахтах, показывает, что вероятность пожара есть на любом участке горных выработок, включая выработки с проложенными дегазационными трубопроводами, и практически невозможно предвидеть точные места и время возникновения таких аварий.

Широко разветвленная по горной выработке система дегазационных трубопроводов, транспортирующих метановоздушную смесь (МВС), в условиях пренебрежения правилами безопасности может служить своего рода огнепроводящим шнуром, быть причиной распространения аварии по всей шахте и выходу её на поверхность, стать инициатором крупнейшей аварии.

Разгерметизация трубопровода под разрежением при пожаре приводит к дополнительным подсосам воздуха в систему и уменьшению содержания метана до его горючих пределов и ниже.

В связи с этим представляют интерес проведение дополнительных исследований, по экспериментальной оценке, критических размеров каналов, образовавшихся при высокотемпературном воздействии на газопровод.

При пожаре на гофрированный рукав, соединяющий скважину с газопроводом, пламя может попасть внутрь дегазационной системы через прогоревшее отверстие диаметром 3,5-4,1 мм. В связи с этим представляет интерес только экспериментальное определение времени поджога МВС в рукаве с момента начала его контакта с пламенем.

Проскакивание в дегазационную газоотводящую систему через зазор между фланцами у случае прогорания прокладок или изгибе трубопровода от нагревания при пожаре в выработке по своему механизму ближе всего к поджогу газовой смеси через зазор между фланцами электрооборудования, однако обращает на себя внимание разница расчетной величины критического размера щелей (2,6 мм) и безопасной её величиной, полученной экспериментально [2] при определении допустимого зазора между фланцами взрывозащищенного электрооборудования и равной 0,1 – 0,5 мм.

В связи с этим представляет интерес не только состояние и время прогорания прокладок, но и профиль щелей и минимальная величина зазора между фланцами, через который возможно проскакивание пламени в сеть дегазационных газопроводов. Поскольку направление движения газовой смеси влияет на скорость проскакивания, то такие исследования необходимо провести для трубопроводов, находящихся и под давлением, и под разрежением (всасывающий).

Известно, что для однослойной цилиндрической стенки уравнение теплопроводности имеет вид [3]:

$$q = \frac{2\pi\lambda(t_1 - t_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}, \quad (1)$$

где q – тепловой поток, выраженный в единицах длины;

λ – коэффициент теплопроводности материала стенки;

t_1, t_2 – температура на внутренней и внешней поверхности трубы;

r_2, r_1 – внутренний и внешний радиусы трубы.

Однако дегазационные трубы следует отнести к тонкостенным, поскольку $\frac{r_1}{r_2} \leq 2$, и расчет теплового потока без большой погрешности вести по уравнениям теплопроводности плоской стенки:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \pi \cdot d_{cp} \cdot (t_1 - t_2), \quad (2)$$

где δ – толщина стенки трубы,
 d_{cp} – средний диаметр трубы.

Из уравнения видно, что тепловой поток пропорционален диаметру трубы, но поскольку объем газовой смеси в трубопроводе зависит от квадрата диаметра, то в одних и тех же условиях (и при равной толщине стенок) в трубах меньшего диаметра на единицу объема смеси влияет большой тепловой поток.

На основании выполненного анализа были проведены лабораторно-полигонные исследования воспламенения метановоздушных смеси в дегазационных трубопроводах, находящихся под разрежением.

Прогорание горючих элементов при пожаре возможно, в основном, в горных выработках, так как поверхностные трубы соединены между собой сваркой. Проскакивание пламени через отверстия и воспламенение нагретой поверхностью может произойти в обеих ветках трубопровода при пожаре в поверхностных строениях и горных выработках.

Возникновение электрического искрения в потоке взрывной газовой смеси возможно при занесении в шахту атмосферного электричества, случайном соединении токопроводящих элементов оборудования с трубопроводом или присоединении к заземляющим контурам, имеющим различные потенциалы. Такие случаи неоднократно происходили на угольных шахтах, в частности, во время грозы [3, 4].

Установка представляет собой трубопровод диаметром 50 мм, U-образный конец которого 1 (длиной около 0,3 м) помещен в электропечь 2, закрытую термоизолированной пробкой 3. На трубопроводе оборудованы устройства для подведения метана 8, для измерения скорости потока 6, и установлен огнепреградитель 5, датчики пламени 7. Метановоздушная смесь приводится в движение вентилятором 9. Температуру в электропечи определяли с помощью термопары 10 и оптического пирометра.

Результаты исследований, показанные на рис. 1, показывают, что температура самовоспламенения и время задержки, определенные в трубопроводе, практически не имеют отличий от данных, полученных в замкнутых емкостях ограниченного объема.

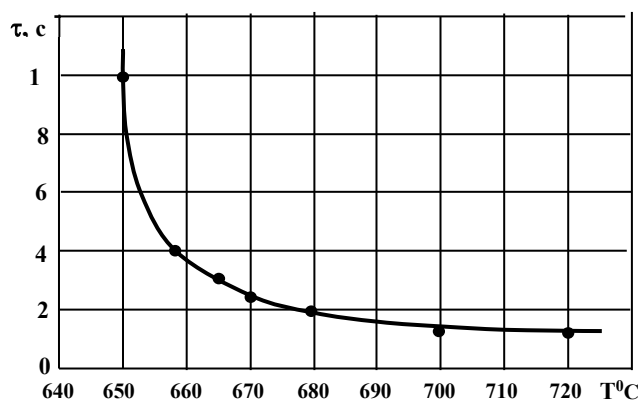


Рис. 1. Зависимость времени задержки воспламенения МВС от температуры трубы

При воспламенении на всасе газотранспортной системы направление движения горения и потока смеси совпадают. Это способствует проникновению пламени в газопровод и обуславливает необходимость защиты входа в систему, особенно в случае транспортирования смесей, находящихся в концентрационных пределах горючести метана, поскольку проход пламени в трубопровод через его открытый конец на всасе не вызывает сомнений ни с точки зрения теории горения, ни его практики.

Однако поступление МВС в дегазационный газопровод происходит в основном через скважины, пересекающие системы трещин в газоносном горном массиве. Некоторые специалисты-практики считают, что система трещин в массиве может исполнять функции огнепреградителя и пламя не пройдет в скважину через трещины с выработанного пространства (горной выработки).

Результаты проведенных исследований, указанных в табл. 1 и 2, противоречат такой мысли и подтверждают возможность проскакивания пламени через трещины в массиве при пожаре в горных выработках и в выработанных пространствах. Пламя проникает через трещины (щели) размером 1,25 мм и более. Эти данные получены для щелей с металлической поверхностью, но их можно достаточно обоснованно перенести и на трещины в горных породах: критические размеры каналов, по которым распространяется пламя, как известно, не зависят от материала их поверхности.

Таблица 1

Проскакивание пламени через радиальную щель между фланцами трубопровода, находящегося под разрежением

Диаметр трубопровода, мм	Ширина щели, мм	Средняя концентрация метана в смеси, %	Скорость потока газа в трубе, м/с	Количество проскоков
				Количество опытов
1	2	3	4	5
107	0,70	7,5	4,1-5,7	0/5
107	0,70	9,0	3,9-6,1	0/5
107	0,70	10,5	4,5-5,6	0/5
107	1,25	8,0	4,9-6,2	2/5
107	1,25	9,5	4,5-5,6	3/5

Таблица 2

Проскакивание пламени через зазор быстроразъемного соединения трубопровода, находящегося под разрежением

Диаметр трубы, мм	Ширина щели, мм	Скорость потока, м/с	Концентрация метана, %	Кол-во проскоков
				Кол-во опытов
100	2-3	4	8,0	1/1
100	2-3	4	10,5	5/5

Однако метановоздушная смесь в дегазационном трубопроводе движется с достаточно высокой скоростью (до 20 м/с), во время задержки объем нагретой смеси будет перемещаться по трубопроводу, и для воспламенения необходимо, чтобы на участке перемещения была соответствующая температура. При температурах 650-1080 °С воспламенение произойдет при длине нагретой части газопровода от 200 до 0,6 м.

Следует также отметить, что интенсивный локальный разогрев стенки газопровода может быть не только при подземном пожаре, но и при аварийном замыкании на газопровод силовых линий электропередач (контактного провода электровозной откатки, силового кабеля, проволоки сварочного аппарата и др.).

Реальность распространения пламени горения метана по трещинам, соединяющим скважину с выработанным пространством, подтверждает описанная ранее авария в дегазационной системе шахты имени Ленинского Комсомола ОП «Укрзападуголь»: пламя горения метана в газопроводе прошло через скважину и трещины в горном массиве и вызвало взрывы МВС и пожар в выработанном пространстве.

ВЫВОД

Управление дегазационной системой и использование дополнительных мероприятий дегазации позволяют локализовать, а иногда и потушить очаг пожара. В то же время разветвленная по горным выработкам система дегазационных трубопроводов, при пренебрежении правилами безопасности, может послужить причиной распространения аварии по всей шахте и выходу пожара на поверхность.

Перечень ссылок

1. НИР «Выполнить исследования процесса управления метановыделением на выемочном участке средствами дегазации в условиях подземного пожара с целью обеспечения безопасности и повышения эффективности ликвидации аварии», МакНИИ, 2025. – С. 61 - 74.

2. Когарко С.М. Детонация МВС и пределы детонации углеводородовоздушных смесей в трубе большого диаметра // ЖГФ. – Т. 28. № 9. – 1958 – С. 20-72.

3. Чигрин В.Д. Авария на шахте «Комсомолец» ОАО «Кузбассуголь» // Безопасность труда в промышленности. – 2000. - № 7. - С. 23-26.

4. Методы и приемы ликвидации сложных подземных пожаров / В.И. Кравченко, В.Е. Мухун. - Москва, 1965. -106 с.