

XI МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

XI Международная научно-практическая конференция

Инновационные перспективы Донбасса

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



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



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



II Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых и студентов
Металлургия XXI столетия глазами молодых

Том 1. Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДОННТУ)**

СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ДОННТУ

**РОССИЙСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА**

**ФГБОУ ВО «ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

НИЦ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПАРТНЕРСТВА ГОСУДАРСТВА И БИЗНЕСА

ИННОВАЦИОННЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ДОНБАССА

**Сборник научных трудов 11-й Международной
научно- практической конференции
Том 1. Проблемы и перспективы в горном деле и
строительстве.**

**г. Донецк
27-29 мая 2025 года**



Донецк – 2025

ББК 65.30

УДК 330.341 (477.61/62)

И
66
Инновационные перспективы Донбасса, г. Донецк, 27-29 мая 2025 г. –
Донецк: ДонНТУ, 2025.
Т. 1: 1. Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве. – 2025.
– 210 с.

Сборник научных трудов 11-й Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса», состоявшейся 27-29 мая 2025 г. в Донецке на базе ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет». В сборнике представлены статьи ученых и специалистов по вопросам приоритетных направлений научно-технического обеспечения инновационного развития Донбасса и формирования механизмов повышения социально-экономической эффективности развития 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, и.о. ректора РХТУ им.Д.И. Менделеева Румянцев Е.В., директор АНО «НИЦ стратегического партнерства государства и бизнеса» О.Ф. Шахов, проректор ДонНТУ С.В. Борщевский, канд. техн. наук А.Н. Корчевский, канд. техн. наук О.Л. Кизияров, докт. техн. наук Э.Г. Куренный, 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 Н.В. Гришко, 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 университет»
Министерство образования и науки ДНР, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

<i>А.В. Агарков, А.В. Осадчий, А.Л.Кавера, Е.Б. Николаев, Н.С. Гладких, В.Д. Редькина. Установка для сушки пожарных напорных рукавов горноспасательных подразделений.....</i>	8
<i>А.В. Агарков, А.Л. Кавера, Д.А. Политучий, Д.С. Буряк, И.И. Москвина, Веткина В.В. Об использовании системы водоотлива для тушения пожаров в угольных шахтах при ведении горноспасательных работ.....</i>	13
<i>А.В. Агарков, А.В. Мавроди, А.Л. Кавера, Е.Б. Николаев, А.В. Ивахненко, М.В. Бурка. Порядок ведения горноспасательных работ в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность.....</i>	19
<i>А.В. Агарков, А.Л. Кавера, Д.А. Политучий, Д.Ф. Балта, М.Г. Шадрина, А.П. Коробов О разработке переносного воздушно-пенного шахтного огнетушителя с отдельным хранением воды и пенообразователя.....</i>	24
<i>А.В. Агарков, А.Л. Кавера, Е.В. Курбацкий, В.В. Захарова, В.В. Репешко, Д.Ю. Малиновский. Совершенствование оборудования для дистанционного контроля газовой обстановки в горных выработках аварийных участков угольных шахт при ведении горноспасательных работ.....</i>	28
<i>И.Н. Андрусенко, С.М. Мартынова. Как проанализировать возможность восстановления и дальнейшей работы угольной шахты в ДНР.....</i>	33
<i>И.Ю. Голик. Обеспечение безопасности при перемещении автомобильной подъемной установки УПА-60/80 между водоотливными комплексами.....</i>	37

<i>В.И. Гриценко, О.Г. Кременев.</i> О причинах нарушения технологии выполнения стропальных работ на гидрозащитных и закрывающихся угольных шахтах.....	41
<i>В.Ю. Деревянский, В.В. Деньга.</i> Критический анализ методики расчета массы инертной пыли и воды в шахтных полочных заслонах.....	46
<i>В.Ю. Деревянский, В.В. Деньга.</i> Основные требования к взрывоподавляющим веществам, предназначенным для оснащения средств локализации взрывов в угольных шахтах..	51
<i>В.А. Епифанов, А.Д. Михеева.</i> Анализ проектирования жилищного строительства в условиях развития цифровых технологий.....	56
<i>В.В. Захарова, Е.В. Подвигина, К.А. Подвигин.</i> Теоретический анализ процесса накопления метана в тупиковых выработках угольных шахт при отсутствии вентиляции.....	61
<i>Я.Д. Зозуля, Ю.А. Петренко, А.Л. Касьяненко.</i> Эволюция законодательства Российской Федерации о ликвидации угольных шахт.....	68
<i>В.В. Зушинская.</i> Классификация причин несчастных случаев и ее апробация на примере травматизма при выполнении стропальных работ на предприятиях угольной промышленности.....	73
<i>И.С. Ильяшенко.</i> Омагничивание водных сред как способ повышения эффективности пылеподавления на предприятиях горной промышленности.....	77
<i>А.Л. Кавера, А.В. Агарков, А.В. Мавроди, В.Ф. Формос, А.В. Ивахненко, Н.С. Захаров.</i> Аварийно-спасательные работы в горных выработках угольных шахт при экзогенных	

пожарах.....	81
<i>А.Л. Кавера, А.В. Агарков, Е.Б. Николаев, Е.В. Курбацкий, В.В. Захарова, Н.С. Заремба. Проветривание малых угледобывающих предприятий Донбасса при ведении горноспасательных работ.....</i>	
	86
<i>А.Л. Кавера, А.В. Агарков, И.И. Москвина, В.В. Захарова, О.К. Мороз, В.Е. Трегубенко. О прогнозировании и ликвидации слоевых скоплений метана в горных выработках угольных шахт Донбасса.....</i>	
	92
<i>А.Л. Кавера, А.В. Агарков, И.И. Москвина, В.В. Захарова, В.В. Яйло, Е.И. Горбачева. Рекомендации по проветриванию аварийных участков угольных шахт после внезапных выбросов угля, породы и газа при ведении горноспасательных работ.....</i>	
	98
<i>А.Л. Кавера, А.В. Агарков, Е.В. Курбацкий, Д.Р. Тишин, С.Р. Тишина, А.В. Тасынич. Исследование возможности использования беспилотных летательных аппаратов при ведении разведки аварийных участков угольных шахт.....</i>	
	103
<i>С.А. Калякин, К.Н. Лабинский, И.В. Купенко, А.Н. Шкуматов, Н.Д. Барсук. Критерии оценки предохранительных свойств ВВ.....</i>	
	109
<i>И.С. Костюк, Д.Д. Ян. Актуализация как начальный этап реинжиниринга производственных процессов на горных предприятиях.....</i>	
	115
<i>Д.Ю. Красноухова. Методический подход к обеспечению комплексной оценки надежности персонала предприятий горной промышленности.....</i>	
	122
<i>О.Г. Кременев. О профессиях работников угольных шахт,</i>	

травмированных при стропальных работах.....	126
<i>А.В. Кузнецов, А.Н. Корчевский. Переработка и утилизация строительных отходов поврежденных зданий и объектов вследствие военных действий в Донбассе.....</i>	<i>131</i>
<i>Д.В. Нагула, С.М. Мартынова. Влияние шахтного водоотлива на формирование химического состава подземных вод.....</i>	<i>136</i>
<i>А.О. Новиков. О деформировании горных пород укрепленных жесткими анкерами.....</i>	<i>141</i>
<i>А.О. Новиков, Н.С. Торченко. Технологии ремонта горных выработок и направления их совершенствования.....</i>	<i>145</i>
<i>Ю.А. Петренко, Д.Л. Касьяненко. Комбинированный способ поддержания выработок глубоких шахт.....</i>	<i>150</i>
<i>Е.В. Подвигина, К.А. Подвигин, В.В. Захарова. Оптимизация микроклиматических условий в буровых галереях нефтяных шахт при проведении ремонтных работ.....</i>	<i>156</i>
<i>А.Г. Радченко. Обнаружение и разведка зон геологических нарушений.....</i>	<i>163</i>
<i>А.Г. Радченко. Оценка степени газодинамической активности зон геологических нарушений.....</i>	<i>168</i>
<i>А.Г. Радченко. Обобщение опыта безопасного ведения горных работ в зонах геологических нарушений на пологих выбросоопасных пластах.....</i>	<i>173</i>
<i>В.Г. Самойлик, А.С. Онищенко. Исследование режимов получения композиционных угольных брикетов.....</i>	<i>178</i>
<i>В.Г. Самойлик, С.С. Шаповалов. Разработка технологии по</i>	

переработке гранитной дресвы.....	184
<i>Г.В. Самойлик, Р.Д. Тризна, М.И. Ахмадеев. Создание макета устройства перепада давления на забойном устройстве подачи долота.....</i>	<i>189</i>
<i>И.Л. Сидак. Акустический неразрушающий контроль деталей горношахтного оборудования.....</i>	<i>195</i>
<i>В.Б. Скаженик, И.Н. Шестопалов, И.В. Чернышенко. Моделирование системы скважин и подземных горных выработок нефтешахты с целью прогноза путей миграции закачиваемого пара.....</i>	<i>199</i>
<i>И.А. Чмерев, Н.С. Шаповалов, Д.В. Демидов, А.А. Мальцева. Методика оценки потребительских свойств «комфортность движения транспортных средств» и «безопасность движения» на автодорожных мостовых сооружениях.....</i>	<i>204</i>
<i>Н.С. Шаповалов, И.А. Чмерев, Д.В. Демидов, А.А. Мальцева. Оценка влияния транспортно-эксплуатационного состояния покрытия проезжей части автодорожных мостовых сооружений на комфортность и безопасность движения.....</i>	<i>207</i>

УДК 614.843.27:614.842.83.081

УСТАНОВКА ДЛЯ СУШКИ ПОЖАРНЫХ НАПОРНЫХ РУКАВОВ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

А.В. Агарков^{1,2}, А.В. Осадчий¹, А.Л. Кавера²,
Е.Б. Николаев², Н.С. Гладких², В.Д. Редькина²

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

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

Аннотация. На основании проведенных расчетов теплового баланса, производительности, мощности нагревательных элементов и расхода тепла на сушку пожарных напорных рукавов выполнено обоснование параметров шкафа сушильного «БРИЗ» горноспасательных подразделений.

Annotation. Based on the calculations of the heat balance, productivity, power of the heating elements and heat consumption for drying fire hoses, the parameters of the drying cabinet "BREEZE" for mine rescue units were substantiated.

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 частности – ликвидация пожаров на различных поверхностных и подземных 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 её работоспособности в экстремальных условиях. При этом аналитический обзор научных работ [1, 2] позволил установить, что одним из наименее исследованных в настоящее время остаётся вопрос технического обслуживания пожарных напорных рукавов (далее – ПНР), которые используют значительно чаще, чем другие виды пожарного оборудования.

ПНР имеют важное 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 тёплым 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 малоисследованным остаётся 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 удалённых 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 и цель настоящей статьи – обоснование параметров автономного малогабаритного шкафа для сушки рукавов БРИЗ, 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

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

где C_b – 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.

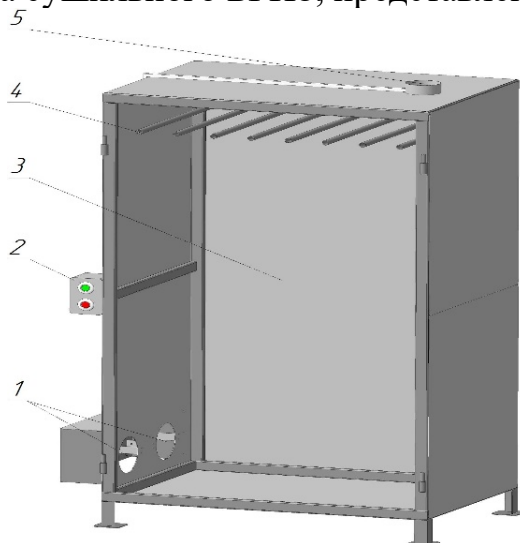


Рис. 2. Конструкция шкафа сушильного БРИЗ:

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

Выводы. Обоснованы параметры шкафа сушильного БРИЗ, отличающегося от существующих возможностью его перевозки на транспорте и автономной работы на месте ведения спасательных работ в летний и зимний периоды.

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 622.53:622.822.24

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ ВОДООТЛИВА ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

А.В. Агарков^{1,2}, А.Л. Кавера², Д.А. Политучий¹,
Д.С. Буряк¹, И.И. Москвина², В.В. Веткина²

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

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

Аннотация. Проведены аналитические и теоретические исследования по использованию системы водоотлива для тушения экзогенных и эндогенных пожаров в угольных шахтах при ведении горноспасательных работ. Выполнен анализ гидравлических процессов в сети пожарно-оросительного водоснабжения и разработаны типовые схемы подачи воды на аварийный участок.

Annotation. Analytical and theoretical studies were conducted on the use of a drainage system for extinguishing exogenous and endogenous fires in coal mines during mine rescue operations. An analysis of hydraulic processes in the fire-irrigation water supply network was performed and typical water supply schemes for the emergency area were developed.

Ключевые слова: угольная шахта; горноспасательная служба; аварийно-спасательные работы; экзогенные и эндогенные пожары; тушение подземных пожаров; шахтный водоотлив.

Keywords: coal mine; mine rescue service; emergency rescue operations; exogenous and endogenous fires; extinguishing underground fires; mine drainage.

Самым дешевым и доступным средством для тушения пожаров в настоящее время является вода. Питание противопожарного водоснабжения угольных шахт осуществляют от поверхностных пожарных резервуаров, которые, в свою очередь, зачастую заполняют от районных и городских водопроводов [1].

Тем не менее, несмотря на все преимущества использования воды для пожаротушения, по данным Организации Объединенных Наций 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 водоснабжения населения и производства, как на глобальном, так и на государственном отраслевом уровне.

В угольных шахтах вода используется как для производственных нужд, так и противопожарного водоснабжения. Однако в подземных условиях шахтная вода несет опасность ввиду затопления горных выработок, что влечет за собой экономические потери и может угрожать работникам шахты в случае большого прорыва воды.

Угольные шахты зачастую имеют большие притоки подземных вод, которые могут быть использованы в качестве дополнительного источника противопожарного водоснабжения, либо полностью перекрыть потребности в обеспечении воды для пожаротушения.

Таким образом, использование шахтной воды решает несколько задач:

- снимает нагрузку с водоотливного комплекса по выдаче ее на поверхность;
- уменьшает использование пресной воды с поверхностных источников;
- обеспечивает запас пожарного водоснабжения непосредственно в горных выработках.

Возможность использования водосборников водоотливных установок горизонтов в качестве резерва пожарного запаса воды для подземного пожаротушения предусмотрено в требованиях [3]. Эти водосборники должны иметь постоянный контролируемый запас воды. Если запланировано использование насосов водоотливных установок для подачи воды в пожарно-оросительную сеть, их гидравлические характеристики должны соответствовать характеристике сети.

На практике использование шахтных вод вызывает затруднения по причине сложности подключения системы шахтного водоотлива к противопожарной сети. Попытки соединить эти две системы нередко приводят к аварии в одной из систем и к прекращению подачи воды.

Целью гидравлического расчета является определение в расчетных точках необходимого расхода воды на пожаротушение и величины гидравлического напора, с учетом потерь на преодоление гидравлического сопротивления в трубопроводе при пропуске расчетного количества воды.

Для расчета необходимы следующие исходные данные:

- параметры защищаемых выработок (функциональное назначение, сечение, степень огнестойкости и применяемые системы

водяного пожаротушения);

- протяженность и диаметры участков трубопровода;
- геодезические отметки подземных резервуаров воды, используемых в качестве источника водоснабжения и всех узловых и конечных точек пожарно-оросительного трубопровода;
- характеристика применяемого оборудования (регулирующей арматуры и насосов).

Значение гидравлического напора воды в расчетных точках, H , м, с учетом потерь на преодоление гидравлического сопротивления в трубопроводе необходимо определять по формуле

$$H = \sqrt{\frac{H_c}{S_c}} + H_r + H_n, \quad (1)$$

где H_c – напор воды, необходимый для преодоления сопротивления по длине трубопровода, м;

S_c – сопротивление ветвей трубопровода, $\text{с}^2/\text{м}^5$,

$$S_c = k_m \cdot \sum_{i=1}^n A_i \cdot l_i, \quad (2)$$

k_m – коэффициент, учитывающий потери давления на местные сопротивления и повороты, следует принимать равным 1,1;

A_i – удельное гидравлическое сопротивление i -го участка трубопровода, $\text{с}^2/\text{м}^6$;

l_i – длина i -го участка трубопровода, м;

H_r – разница геодезических отметок между точками подачи и отбора воды, м;

$$H_r = l_n \cdot \sin \beta, \quad (3)$$

где l_n – протяженность наклонной горной выработки, м;

β – угол наклона горной выработки, °;

H_n – требуемое значение напора воды для эффективной работы применяемого пожарного оборудования (пожарный ствол, водяная завеса и т.п.), м.

Обеспечить расчетные значения в местах отбора воды должны насосы водоотливного комплекса. При этом необходимо учитывать, что давление воды на выходе из пожарных кранов должно составлять от 0,5 МПа до 1,0 МПа [3].

Схемы подачи воды с использованием шахтного водоотлива возможны с использованием насосного оборудования. Исходя из горно-геологических условий, в схеме подачи воды должны быть задействованы редуccionные узлы. Перед использованием шахтной воды для целей пожаротушения необходимо выполнить ее очистку отстаиванием и фильтрованием от взвешенных частиц. При использовании водоотлива для пожаротушения необходимо предусматривать устройство стационарных узлов переключения.

Предлагаются следующие схемы подачи воды на аварийный участок:

– подача воды от водоотлива по горизонту шахты с помощью насосов, расположенных на нем (рис. 1);

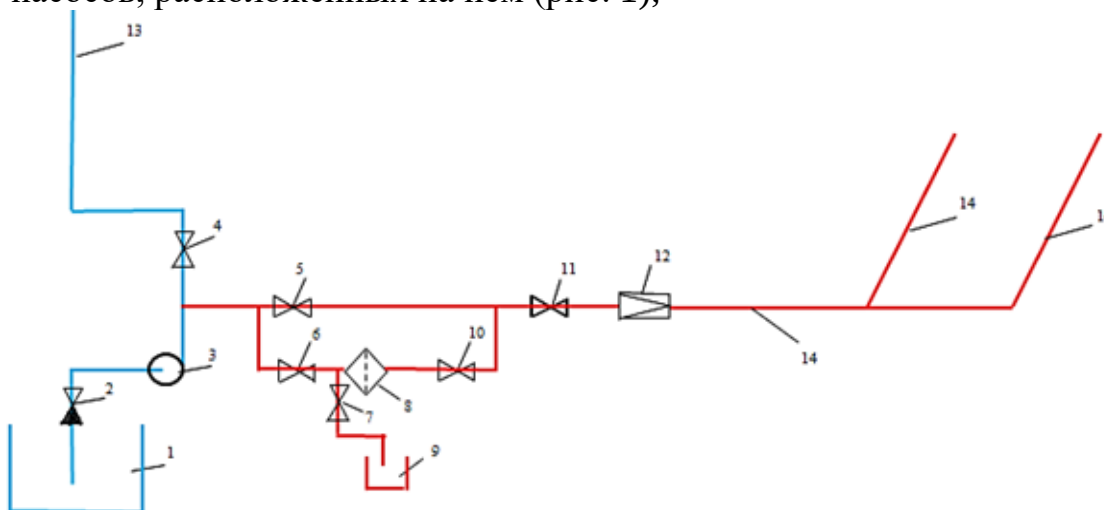


Рис. 1. Принципиальная схема подачи воды от водоотлива по горизонту шахты с помощью насосного оборудования:

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

– подача воды от водоотлива на вышерасположенный горизонт (рис. 2);

– подача воды от водоотлива на нижерасположенный горизонт (рис. 3).

Выводы. Таким образом, схемы подачи воды от шахтного водоотлива отличаются вариативностью. Выбор того или иного варианта должен быть определен исходя из горно-геологических условий, обеспечения нормативных значений давления и расхода в пожарных кранах и подтвержден гидравлическим расчетом.

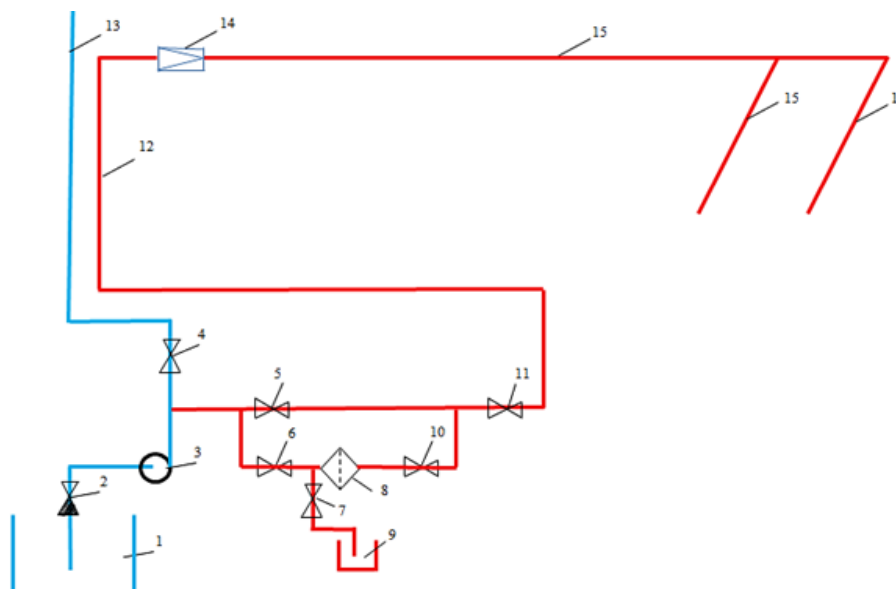


Рис. 2. Принципиальная схема подачи воды с использованием водоотлива на вышерасположенный горизонт: 1 – отстойник, 2 – обратный клапан, 3 – насос, 4, 5, 6, 7, 10, 11 – задвижка, 8 – фильтр, 9 – сливная емкость, 12 – пожарно-оросительный став на вышерасположенный горизонт, 13 – водоотливный став, 14 – редукционный клапан, 15 – пожарно-оросительный трубопровод

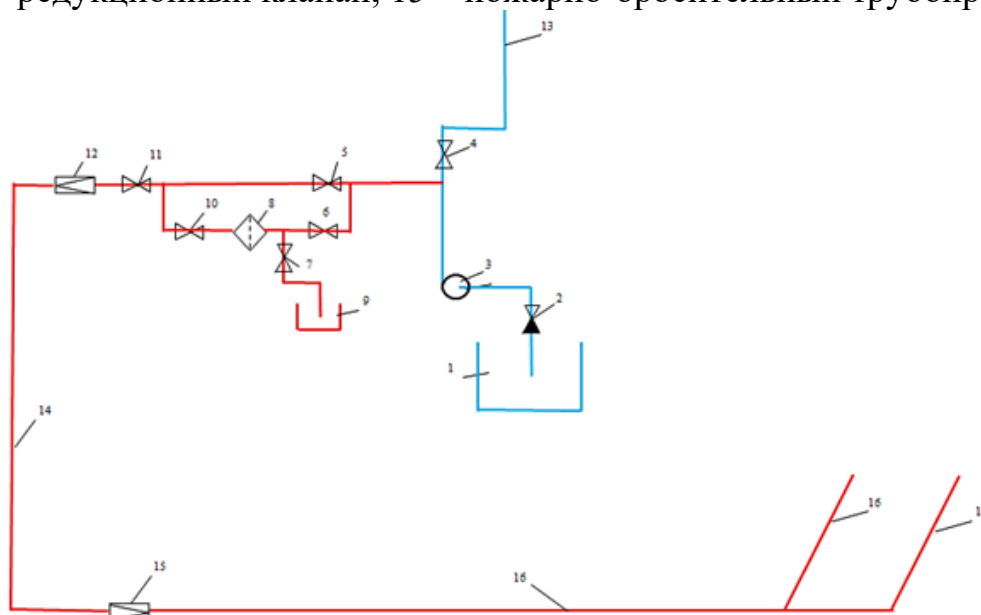


Рис. 3. Принципиальная схема подачи воды с использованием водоотлива на нижерасположенный горизонт: 1 – отстойник, 2 – обратный клапан, 3 – насос, 4, 5, 6, 7, 10, 11 – задвижка, 8 – фильтр, 9 – сливная емкость, 12, 15 – редукционный клапан, 13 – водоотливный став, 14 – пожарно-оросительный став на нижерасположенный горизонт, 16 – пожарно-оросительный трубопровод

Перечень ссылок

1. Руководство по составлению проектов противопожарной защиты рудных шахт: [утверждено Управлением горного надзора Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору 21.07.2004 г.] – М., 2004. – 172 с.

2. Гусев, Н.Н. Эколого-экономическая оценка вовлечения шахтных вод в хозяйственный оборот / Н.Н. Гусев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 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] – М., 2021. – 269 с.

УДК 622.867.2:614.8

ПОРЯДОК ВЕДЕНИЯ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В НЕОБСЛУЖИВАЕМЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ, ИМЕЮЩИХ ВЫХОДЫ НА ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

А.В. Агарков^{1,2}, А.В. Мавроди¹, А.Л. Кавера²,
Е.Б. Николаев², А.В. Ивахненко¹, М.В. Бурка²

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

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

Аннотация. Выполнен анализ особенностей и условий 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.

Annotation. An analysis was made of the characteristics and conditions of mine rescue operations at small coal mining enterprises (pits, artels), which are characterized by a high accident rate and injury rate, and also represent unattended mine workings with exits to the earth's surface.

Ключевые слова: горная выработка; земная поверхность; горноспасательная служба; аварийно-спасательные работы.

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

Закрытие нерентабельных угольных шахт, расположенных на территории Донецкой Народной Республики (далее – ДНР) Российской Федерации, привело к появлению в границах горных отводов малых угледобывающих предприятий (копанок, артелей) 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, 6].

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, 6].

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 2024 гг. позволил установить основные причины и условия возникновения аварий в необслуживаемых горных выработках шахт (рис. 1).

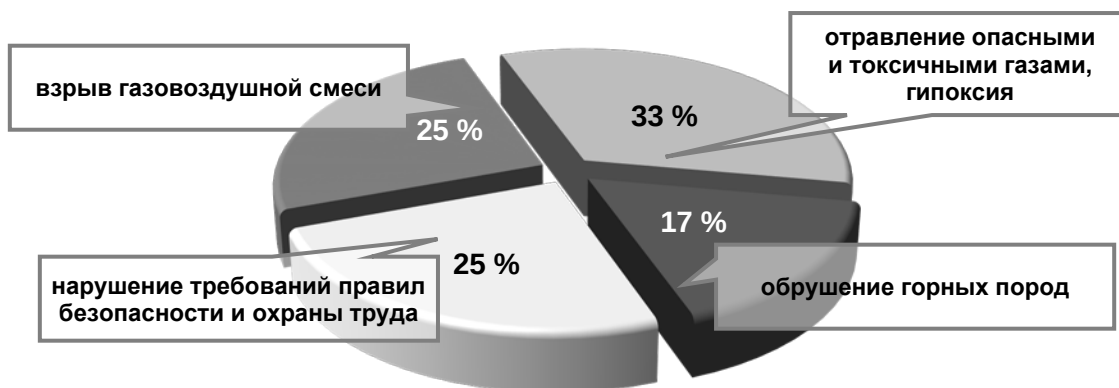


Рис. 1. Аварийность и травматизм на малых угледобывающих предприятиях ДНР в период с 2020 по 2024 гг.

Для примера рассмотрим одну из аварий, произошедшую 19.02.2020 г. 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).

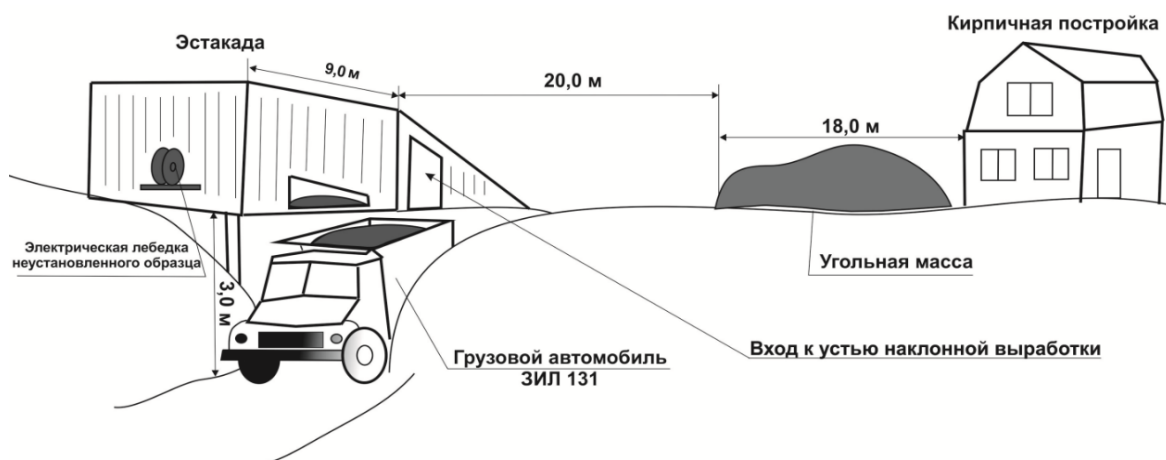


Рис. 2. Эскиз поверхностного комплекса копанки (артели)

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.

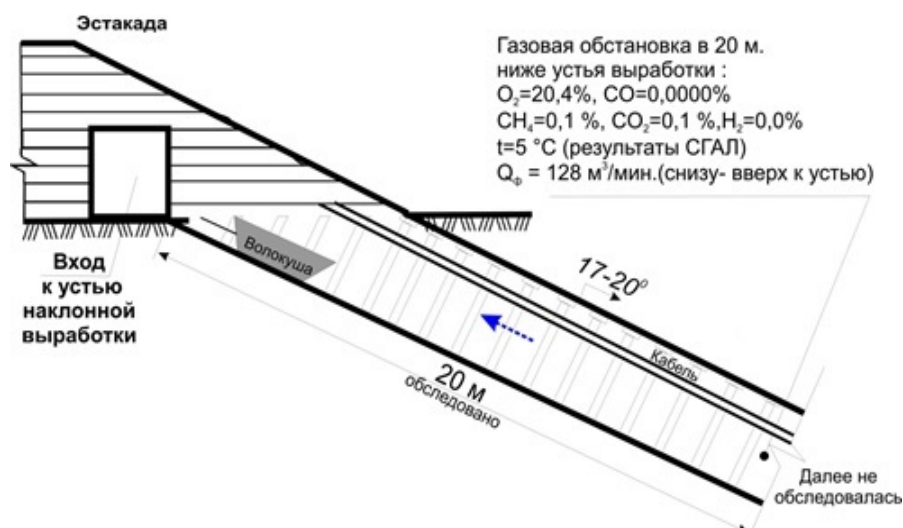


Рис. 3. Эскиз наклонной горной выработки копанки (артели)

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...6 м²) 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) газозадушенной смеси и отравлений рабочих.

Выводы. Таким образом, определены особенности малых угледобывающих предприятий (копанок, артелей), которые характеризуются высокой аварийностью и травматизмом. 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.
6. Мажуховский, Э.И. Аварийно-спасательные и другие неотложные работы / Э.И. Мажуховский // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – Т. 3, № 2 (10). – С. 88-92.

УДК 614.845.5

О РАЗРАБОТКЕ ПЕРЕНОСНОГО ВОЗДУШНО-ПЕННОГО ШАХТНОГО ОГНЕТУШИТЕЛЯ С РАЗДЕЛЬНЫМ ХРАНЕНИЕМ ВОДЫ И ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ

А.В. Агарков^{1,2}, А.Л. Кавера², Д.А. Политучий¹,
Д.Ф. Балта¹, М.Г. Шадрина², А.П. Коробов²

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

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

Аннотация. Предложены новые конструктивные решения в рамках разработки переносного воздушно-пенного шахтного огнетушителя с раздельным хранением воды и пенообразователя для тушения пожаров (классов А и В), что позволяет существенно снизить эксплуатационные расходы при обеспечении безопасности труда и противопожарной защиты в угольных шахтах.

Annotation. New design solutions have been proposed within the framework of the development of a portable air-foam mine fire extinguisher with separate storage of water and foaming agent for extinguishing fires (classes A and B), which allows for a significant reduction in operating costs when ensuring occupational safety and fire protection in coal mines.

Ключевые слова: угольная шахта; горноспасательная служба; подземные пожары; безопасность труда и противопожарная защита; шахтный огнетушитель.

Keywords: coal mine; mine rescue service; underground fires; occupational safety and fire protection; mine fire extinguisher.

Наиболее распространенным, сложным и опасным видом подземных аварий в угольных шахтах являются пожары, наносящие отрасли наибольший материальный ущерб и сопровождающиеся максимальным риском для жизни и здоровья людей [1].

Для быстрой ликвидации возникающих очагов горения все подземные горные выработки и поверхностный комплекс шахт обеспечиваются огнетушащими средствами. Самыми распространенными средствами тушения подземных и поверхностных пожаров в начальный период их возникновения являются ручные огнетушители, массой до 20 кг.

В настоящее время применяемые переносные воздушно-пенные шахтные огнетушители подлежат ежегодной проверки их состояния и технического обслуживания, включающего замену огнетушащего вещества [2]. На обслуживание данного типа огнетушителей ежегодно затрачиваются значительные средства – в среднем 1 000 руб. на каждый огнетушитель. Принимая во внимание данный недостаток, предлагается разработка переносного воздушно-пенного шахтного огнетушителя с отдельным хранением воды и пенообразователя для тушения пожаров классов А и В на поверхностных и подземных объектах, что позволит снизить эксплуатационные расходы (срок службы концентрированного пенообразователя, в зависимости от его марки, составляет от 5 до 10 лет) и получить существенный финансово-экономический эффект, увеличив срок службы огнетушителей, при этом не снижая эффективности огнетушащего вещества. В отличие от существующих аналогов, в предлагаемом огнетушителе будет предусмотрено отдельное хранение воды и пенообразователя, что позволит увеличить срок его технического обслуживания (перезарядки) до 5-10 лет.

На основании проведенных исследований [3] установлено, что огнетушитель должен соответствовать [2] и состоять из следующих основных частей: корпуса, устройства запорно-пускового, баллона со сжатым воздухом, сифона с емкостью для хранения концентрированного пенообразователя, а при работе – для выдачи огнетушащего вещества, рукава гибкого с пеногенератором, устройства для фиксации от самопроизвольного срабатывания, подставки для придания устойчивости корпусу.

В качестве заряда огнетушителя предлагается синтетический углеводородный пенообразователь общего назначения: ПО-6ВАС, ПО-НСВ, ПО-ЗНП, ПО-6ТС, ПО-6ОСТ, ПО-3ОСТ, ТЭАС, Ялан, ПО-6У, ПО-6РП, ПО-6РЗ, ПО-3БТ, ПО-6СП. Марки данного типа пенообразователей получили широкое применение за счет своей доступности и относительно низкой стоимости, а также отработанной технологии изготовления. По химическому составу они классифицируются как синтетические углеводородные типа S, не содержащие фторированные поверхностно-активные вещества. Это маловязкие, однородные жидкости с реакцией среды близкой к нейтральной, обладающие низкой температурой застывания, устойчивые против расслаивания при хранении, обладают низким коррозионным действием и неизменностью свойств при хранении, генерируют пену от низкой до высокочрезмерной и имеют наиболее долгий срок хранения из всех типов пенообразователей. Срок хранения

данных пенообразователей варьируется в среднем от 5 до 10 лет.

С целью использования в угольных шахтах огнетушитель должен быть изготовлен для работы при температуре 278 – 323 К и относительной влажности воздуха до 100 % при температуре 308 К.

Общий вид предлагаемого огнетушителя представлен на рис. 1.

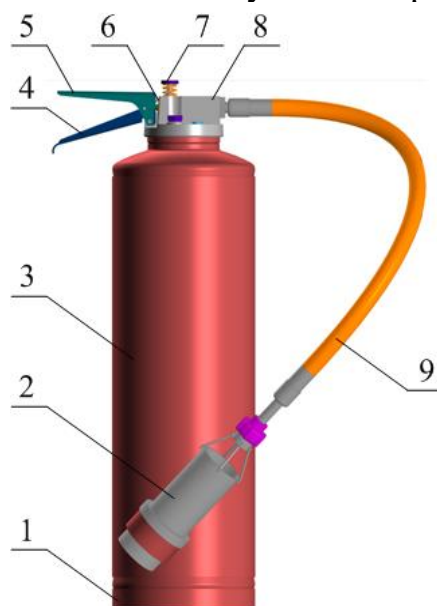


Рис. 1. Общий вид огнетушителя (3D-модель):

1 – подставка; 2 – пеногенератор; 3 – корпус; 4 – ручка; 5 – рычаг; 6 – блокирующее устройство; 7 – пробойник; 8 – запорно-пусковое устройство; 9 – рукав гибкий

Основные параметры и размеры огнетушителя должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры огнетушителя

Наименование параметра	Норма
1. Огнетушащее вещество	Пенообразователь общего назначения углеводородный
1. Вместимость корпуса, л (дм ³)	10
2. Давление в баллоне со сжатым воздухом, МПа	15 – 20
3. Продолжительность приведения в действие, с, не более	6

Продолжение таблицы 1

Наименование параметра	Норма
4. Продолжительность подачи огнетушащего вещества, с, не менее	30
5. Длина струи огнетушащего вещества, м, не менее	4
6. Масса полная, кг, не более	15

В ходе экспериментальных исследований было также установлено, что максимальная дальность выброса струи прямо пропорциональна напору перед пеногенератором, или давлению в корпусе огнетушителя. При этом зависимость имеет линейный характер. А основными конструктивными параметрами, определяющими эффективность работы огнетушителя, являются диаметры дозирующего отверстия баллона, по которому газ поступает в корпус и сопло пеногенератора, а также объем свободного пространства в корпусе над пенообразующим раствором.

Выводы. Испытания экспериментальных образцов огнетушителя показали высокую надежность и эффективность. Все параметры огнетушителя соответствуют [2]. Огнетушитель конструктивно прост, технологичен в изготовлении и удобен в эксплуатации. По назначению, надежности, эстетике, удобству применения, а также по степени унификации и стандартизации огнетушитель отвечает современным техническим требованиям.

Внедрение данного огнетушителя позволит повысить уровень противопожарной защиты поверхностных и подземных объектов, а также достичь снижения эксплуатационных расходов на техническое обслуживание воздушно-пенных шахтных огнетушителей.

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. ГОСТ Р 51057-2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний: принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 25.10.2001 № 435-ст / разработан Техническим комитетом по стандартизации ТК 274 «Пожарная безопасность». – 2001. – 45 с.

3. 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.

УДК [622.868:622.411.3]:[62-543.27.05]-519

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ГАЗОВОЙ
ОБСТАНОВКИ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ АВАРИЙНЫХ
УЧАСТКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ПРИ ВЕДЕНИИ
ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

А.В. Агарков^{1,2}, А.Л. Кавера², Е.В. Курбацкий²,
В.В. Захарова², В.В. Репешко², Д.Ю. Малиновский²

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

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

Аннотация. Предложены новые конструктивные решения и даны рекомендации по использованию усовершенствованной системы дистанционного контроля газовой обстановки в горных выработках аварийных участков угольных шахт при ведении горноспасательных работ по тушению экзогенных и эндогенных пожаров.

Annotation. New design solutions are proposed and recommendations are given for the use of an improved system for remote monitoring of the gas situation in mine workings of emergency sections of coal mines during mine rescue operations to extinguish exogenous and endogenous fires.

Ключевые слова: угольная шахта; горноспасательная служба; аварийный участок; подземные экзогенные и эндогенные пожары; газовая обстановка; дистанционный контроль; отбор и анализ проб.

Keywords: coal mine; mine rescue service; emergency area; underground exogenous and endogenous fires; gas situation; remote monitoring; sampling and analysis.

В горной промышленности значительным препятствием на пути к достижению высоких показателей угледобычи являются 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

возможностью взрыва газовой смеси и возникновением других условий, опасных для жизни горноспасателей. В этом случае получение достоверных данных о шахтной среде (рудничной атмосфере), то есть о температуре и концентрациях газов, аварийного участка путем дистанционного контроля газовой обстановки в течение всего периода ликвидации аварии – одно из главных условий безопасного и эффективного ведения аварийно-спасательных работ. Контроль газовой обстановки позволяет на безопасном расстоянии от аварийного участка следить за динамикой аварии (например, за развитием пожара или его затуханием), определять вероятность взрыва газовой смеси и эффективность принятых мер по сокращению количества воздуха, подаваемого на аварийный участок, а также по инертизации шахтной среды изолированного участка.

Однако применяемое в настоящее время горноспасательными подразделениями оборудование имеет недостатки [2], что приводит к отсутствию достоверности оценки газовой обстановки в аварийных участках, так как в практике ликвидации пожаров имеют место случаи взрывов газовой смеси, в то время как по результатам прогнозирования и анализа взрывоопасная ситуация не наблюдалась, а также обратная ситуация – когда по результатам газовой оценки наблюдалась взрывоопасная ситуация, а взрывов не было, что отрицательно влияет на оперативность ведения спасательных работ.

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

В связи с этим, совершенствование оборудования для дистанционного контроля газовой обстановки в аварийных участках шахт является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное практическое значение. Решение этой задачи позволит повысить безопасность труда горноспасателей, эффективность ведения аварийно-спасательных работ, сократить время ликвидации аварий и, соответственно, снизить экономический ущерб от них.

С целью совершенствования оборудования для контроля газовой обстановки дистанционным способом при ликвидации пожаров и других аварий в угольных шахтах предлагается система «УСДОП» (рис. 1). Изделие позволяет осуществлять дистанционный отбор проб

шахтного воздуха по высоте горных выработок аварийного участка, имеет в комплекте фильтрующие элементы (рис. 2а) для снижения скапливания влаги в трубопроводе и осушения воздуха перед попаданием в газоаналитический прибор для экспресс-анализа проб.

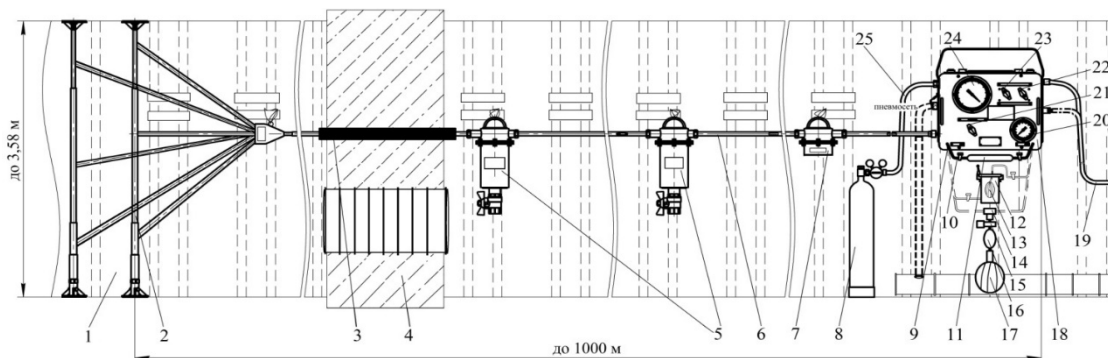


Рис. 1. Общий вид системы «УСДОП» (монтажный чертеж):

- 1 – изолированное пространство горной выработки;
- 2 – многооточечный пробоотборник; 3 – металлическая труба;
- 4 – взрывоустойчивая перемычка (в случае изоляции горной выработки); 5 – фильтры-влажнотделители; 6 – магистраль пробоотборного трубопровода; 7 – фильтр-осушитель; 8 – баллон со сжатым воздухом; 9 – фитинги или штуцеры; 10 – трубки с зажимами Мора; 11 – бюретка; 12 – буферный резервуар;
- 13, 17 – камеры для отбора проб; 14 – Т- или Y-образный соединительный тройник; 15 – шаровый кран; 16 – ручной вакуумный насос; 18 – пневматический вакуумный насос; 19 – отводной шланг;
- 20 – манометр; 21, 22, 23 – шаровые краны выбора режимов работы и питания побудителя расхода (эжекторной установки УЭ-1М);
- 24 – вакуумметр; 25 – соединительный рукав

Принцип работы разработанной системы состоит в том, что шахтный воздух, отбираемый многооточечным пробоотборником (рис. 2б) в выработке, откачивается по трубопроводу на безопасное расстояние от аварийного участка под действием разрежения, создаваемого побудителем расхода, и через отводной трубопровод сбрасывается в окружающую среду. С помощью специальных приспособлений УСДОП позволяет осуществлять набор проб в бюретки и камеры, а также экспресс-анализ проб воздуха непосредственно в шахте, применяя переносные многоканальные газоанализаторы с пробозаборными насадками (адаптерами).

С учетом длительного периода эксплуатации, небольшой массы, высокой прочности, низкой газопроницаемости и удобства монтажа, в качестве пробоотборного следует использовать трубопровод

из полиэтилена с внутренним диаметром 12 мм и толщиной стенки не менее 2 мм. Для соединения отдельных бухт трубопровода следует применять фитинги или быстроразъемные соединения. При прокладке по выработкам трубопровод необходимо подвешивать к элементам крепи (хомутам, сетке-затяжке) через каждые 10...15 м на высоте 1...1,5 м от почвы при помощи мягкой проволоки, исключая скопление места увязки и деформацию, избегая пережатий, скручиваний, значительных провисаний, а также резких изгибов.

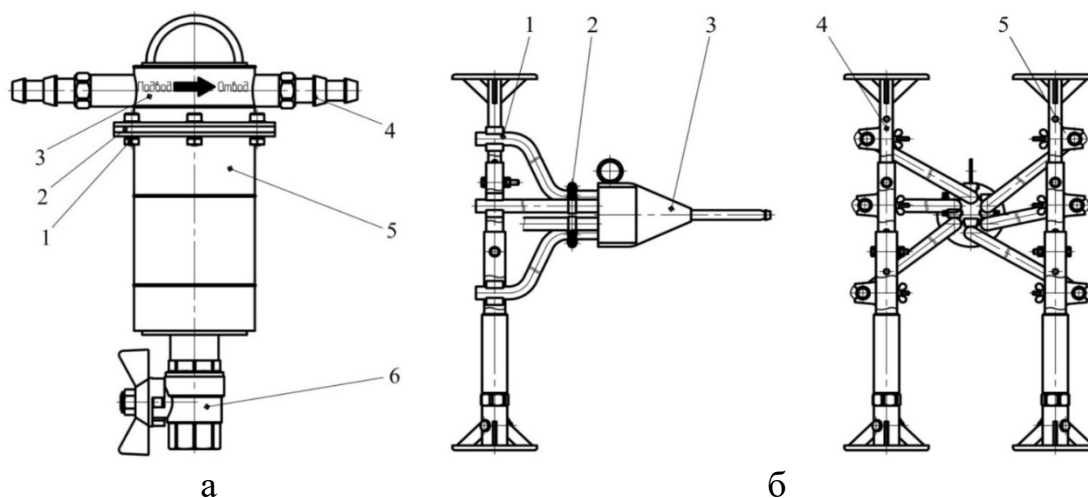


Рис. 2. Приспособления для повышения эффективности дистанционного контроля шахтной среды в аварийном участке:

а) фильтр-влагоотделитель:

1 – шаровой кран; 2 – корпус; 3 – штуцер; 4 – соединительные элементы,

б) многоточечный пробоотборник:

1 – трубка; 2 – соединительные элементы (хомуты); 3 – коллектор;
4 – стойка; 5 – держатель для трубки;

Газовый анализ проб, отобранных в бюреты или камеры, можно осуществлять в газоаналитических лабораториях подразделений горноспасательной службы ФГУП «ВГСЧ», а также экспресс-методом непосредственно в шахте на безопасном расстоянии от аварийного участка при помощи переносных газоанализаторов М-02. После газового анализа проб для оперативного расчета треугольника взрываемости смеси горючих газов целесообразно использовать программное обеспечение [3].

На рис. 3 представлен способ дистанционного отбора проб из нескольких выработок или секционного отбора проб по длине одной протяженной горной выработки.

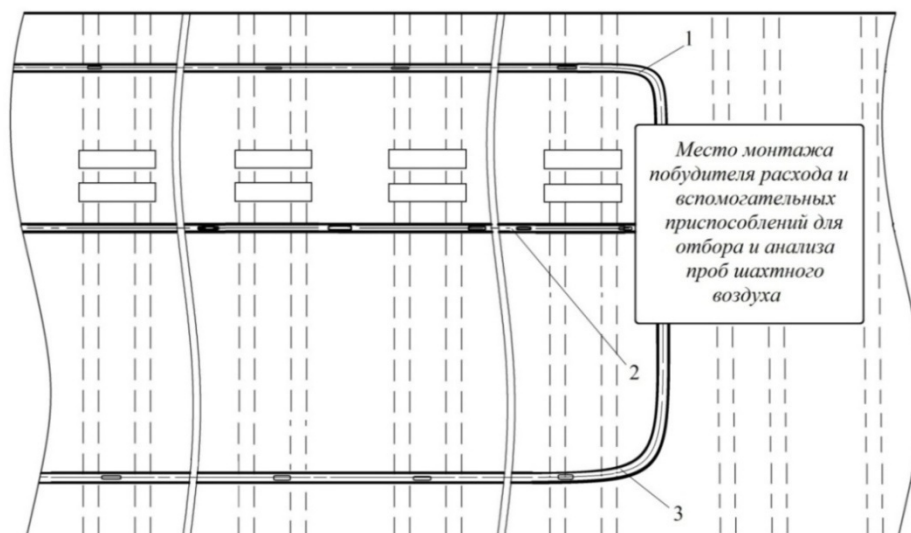


Рис. 3. Схема монтажа трех отдельных магистралей трубопровода по высоте горной выработки:

1 – трубопровод для оценки максимальных концентраций метана, водорода, оксида углерода; 2 – трубопровод для оценки концентраций кислорода и азота; 3 – трубопровод для оценки максимальных концентраций диоксида углерода

Результаты испытаний системы «УСДОП» подтвердили ее эффективность за счет повышения достоверности и оперативности дистанционного контроля газовой обстановки [3].

Выводы. Таким образом, использование разработанного изделия позволяет эффективно определять состав шахтной среды в аварийных горных выработках угольных шахт для повышения безопасности ведения горноспасательных работ.

Внедрение данного оборудования – один из важных этапов повышения безопасности труда горноспасателей ФГУП «ВГСЧ» в угольных шахтах при ликвидации пожаров и последствий взрывов газозвушной смеси, осложненных пожарами, а также других подземных аварий.

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. Tube bundle system for monitoring of coal mine atmosphere / NCBI. – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4545479/>, свободный.

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

УДК 622.06

**КАК ПРОАНАЛИЗИРОВАТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАБОТЫ
УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ В ДНР**

И.Н. Андрусенко, С.М. Мартынова
ГБУ «ДОНГИПРОШАХТ»,
г. Донецк, ДНР

***Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы проведения комплексного анализа возможности восстановления и дальнейшей работы отдельно взятой угольной шахты в ДНР*

***Annotation.** The article examines the issues of conducting a comprehensive analysis of the possibility of restoring and further operation of a single coal mine in the DPR*

***Ключевые слова:** шахта, уголь, анализ*

***Keywords:** mine, coal, analysis*

Угольная промышленность остаётся ведущим звеном в системе энергетической независимости и безопасности Донецкой Народной Республики. В настоящее время до 90 % добываемого в ДНР угля используется для собственного потребления [1]. На этом угле работают Старобешевская и Зуевская тепловые электростанции, этим углем покрываются бытовые нужды населения республики.

Основной проблемой угольной промышленности региона на текущий момент является невозможность возобновления горных работ на многих угольных предприятиях ДНР из-за последствий ведения боевых действий на территории республики. Многие шахты затоплены, на многих частично или полностью разрушены поверхностные комплексы и выведена из строя подземная технологическая часть. Однако потребность в угле для работы промышленных предприятий республики и обеспечения нужд населения сохраняется. При наличии в Донецком регионе огромных запасов угля разных марок крайне необходимо восстановить работу хотя бы некоторой части угледобывающих предприятий республики.

Целью данной статьи является обзор параметров и критериев анализа возможности восстановления работы угольных шахт Донецкой Народной Республики и ведения в дальнейшем их полноценной деятельности по добыче угля для обеспечения запросов региона в энергетическом сырье.

С 2014 года в прессе и в Интернете было опубликовано множество статей, посвященных катастрофической ситуации, сложившейся в

угольной промышленности Донецкого региона. В этих статьях освещалась, в основном, проблема неконтролируемого затопления шахт в результате отключения электроэнергии из-за боевых действий, остановка шахт в результате многочисленных разрушений поверхностных комплексов, давались рекомендации по преодолению негативных последствий подтопления участков земной поверхности и расположенных на них населенных пунктов. Однако нигде в публикациях не поднимался вопрос об оценке возможности восстановления работы угольных предприятий на основе комплексного анализа состояния шахт, а также привлечении инвесторов в угольную отрасль республики на основании конкретных цифр и выводов.

В настоящее время ГБУ «ДОНГИПРОШАХТ» приступил к разработке научно-исследовательской работы «Исследование состояния, анализ возможностей угледобычи и разработка рекомендаций, направленных на перспективное развитие угольной отрасли ДНР». Целью выполнения работы является разработка и обоснование рекомендаций, направленных на перспективное развитие угольной отрасли ДНР на основе исследования и определения возможностей угледобычи шахтами региона.

Для комплексной оценки рациональности возобновления и продолжения производственной деятельности шахт должны рассматриваться такие технико-экономические показатели, как проектная и производственная мощность угледобывающего предприятия, численность трудящихся, достигнутая производительность труда, себестоимость продукции, уровень рентабельности производства, наличие подготовленных запасов угля, состояние подземного и поверхностного производственных комплексов и др.

На результативность работы угледобывающих предприятий значительное влияние оказывают большое число горно-геологических факторов. Это глубина разработки, количество балансовых запасов, мощность кондиционных угольных пластов, марка добываемых углей, газообильность шахты, углы падения пластов, устойчивость вмещающих пород и наличие геологических нарушений.

Большое значение для работы угольных предприятий играет выбор технологических параметров и применяемых технических средств.

На протяжении всего срока деятельности угледобывающего предприятия горно-геологические и горнотехнические условия производства постепенно ухудшаются. Это связано с общепринятым способом отработки запасов, когда в первую очередь добываются те из них, которые залегают в наиболее благоприятных условиях. Переход к

худшим в геологическом отношении участкам шахтного поля, удаленным от основного технологического (подъемного) горизонта, приводит к деконцентрации горных работ, росту длины поддерживаемых выработок, удлинению транспортных магистралей, увеличению расходов на поддержку горного хозяйства. Вследствие этого добывающая способность шахты постепенно снижается, а ее экономические показатели ухудшаются [2]. Эта тенденция присуща работающим шахтам, однако ее нужно учитывать и при решении вопроса о необходимости восстановления угольных предприятий.

Поэтому для определения рациональности восстановления шахты и дальнейшей ее эксплуатации в рабочем режиме необходимо выполнить ряд аналитических исследований по данному предприятию.

В первую очередь необходимо произвести оценку количества, качества и состояния угольных запасов, которые имеет шахта. От этого зависит продолжительность ее работы, и как следствие, принятие решения о ее восстановлении. Далее необходимо исследовать состояние поверхностного комплекса шахты и убедиться в его работоспособности. Также необходимо убедиться в пригодности всех вскрывающих и главных эксплуатационных горных выработок с комплексами подъёмов и оснастки стволов для дальнейшей стабильной работы предприятия.

Дальнейший анализ предусматривает исследование существующей подземной сети горных выработок на пригодность для эксплуатации и на возможность их применения для размещения участков по добыче угля. Далее следует рассмотреть удаленность намеченных к отработке запасов от существующей сети выработок и проанализировать объем вскрышных и подготовительных работ.

После изучения вышеперечисленных вопросов следует выбрать соответствующую горно-геологическим условиям современную передовую технику и технологию ведения очистных и подготовительных работ, а также средства механизации для транспортировки и выдачи угля.

Когда вопрос укомплектованности лав техникой будет решен, необходимо определиться с нагрузкой на лаву и количеством одновременно действующих лав, что позволит определить годовую мощность шахты. При этом необходимо учесть горно-геологические условия залегания пластов и качественные характеристики углей.

После анализа количества намеченных к отработке запасов и технической возможности их отработки следует наряду с такими технологическими параметрами, как способы выемки и доставки угля, рассмотреть возможность обеспечения горных работ достаточным количеством воздуха, т.е. произвести прогнозный расчет вентиляции, и

наметить комплекс мероприятий, необходимых для создания вентиляционной сети шахты и поддержания ее в дальнейшем в рабочем состоянии.

Следующим наиважнейшим вопросом для нормальной работы шахты является обеспечение гидрологической безопасности восстанавливаемого предприятия. В результате угледобывающей деятельности шахт Донбасса между ними по той или иной причине возникли множественные гидравлические связи, приведшие в настоящее время к перетоку значительных объемов шахтных вод между шахтами. При восстановлении одного отдельного угледобывающего предприятия придется откачивать не только свой водоприток, а и водопритоки соседних неработающих шахт. При анализе возможности восстановления шахты необходимо тщательно проработать вопрос об объемах и возможности откачки своего и дополнительного водопритока.

Далее следует проработать вопросы логистики при обеспечении работы шахты, при складировании и вывозе готовой продукции потребителю.

Естественно, все вышеперечисленные показатели при анализе возможности восстановления и дальнейшей работы угольного предприятия следует рассматривать укрупненно, без излишней детализации.

Когда все объемы по восстановлению шахты будут определены, необходимо определить полную стоимость восстановительных работ и эксплуатационные затраты на развитие горных работ по добыче и реализации угля.

Затем исходя из ожидаемых затрат и предполагаемой прибыли определить предполагаемый уровень рентабельности восстановленного предприятия

Суммируя выше сказанное, анализ возможности восстановления работы угольной шахты должен дать ответ на вопрос потенциального инвестора - сколько запасов угля осталось, можно ли их взять, как это сделать и сколько это будет стоить. А кому, за сколько и как продать, и при этом не прогореть, это уж решать самому инвестору.

Перечень ссылок

1. Аналитика. 13 декабря 2023. Угольные предприятия ДНР: <https://repost.press/news/ugolnye-predpriyatiya-dnr>
2. Балашова, Р.И., Кравченко А.А., Квартина А.И., Левикина Д.Э. Аналитическая оценка угольной промышленности Донецкого региона / Р.И. Балашова, А.А. Кравченко, А.И. Квартина, Д.Э. Левикина // Вестник института экономических исследований, 2023 – № 3 (31). – С. 40–51
УДК 622.8:622.233.6

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ УПА-60/80 МЕЖДУ ВОДООТЛИВНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ.

И.Ю. ГОЛИК
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ГОРНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ»
(ГБУ «МАКНИИ»),
г. Макеевка, ДНР

Аннотация. Изложены требования, предотвращающие аварийность и травматизм при передвижении между гидрозакритными шахтами установки подъемной автомобильной УПА-60/80, обслуживающей водоотливные комплексы с погружными насосами. Требования предназначены для включения в «Инструкцию по охране труда при эксплуатации установки УПА-60/80».

Annotation. This research paper presents the requirements for prevention of accidents and injuries during the travel of the vehicular hoisting plant UPA-60/80, which operates the drainage complexes with submersible pumps. The requirements are intended to incorporation into the Labour Safety Regulation During the Operation of the Vehicular Hoisting Plant UPA-60/80.

Ключевые слова: аварийность, травматизм, водоотливный комплекс, установка подъемная автомобильная, дорожное движение, безопасность.

Keywords: accident, injury rate, drain complex, vehicular hoisting plant, road traffic, safety.

ГУП ДНР «Главное управление реструктуризации шахт» использует водоотливные комплексы, оснащенные погружными насосами, для откачки воды из затопленных шахтных стволов и специально пробуренных скважин. Для монтажа и демонтажа насосного оборудования и водоотливных труб применяется подъемная автомобильная установка УПА-60/80 (УПА). Обеспечение безопасности при эксплуатации УПА, особенно во время ее перемещения между водоотливными комплексами, является важной задачей для предотвращения аварийных ситуаций.

Цель работы – разработка требований безопасности при передвижении установки УПА-60/80 между обслуживаемыми водоотливными комплексами с погружными насосами.

Разрабатываемые требования безопасности будут включены в "Инструкцию по охране труда при эксплуатации установки УПА-60/80" и должны соответствовать действующим нормативным правовым актам Российской Федерации, а именно: "Основным требованиям к порядку разработки и содержанию правил и инструкций по охране труда, разрабатываемых работодателем" [1] и "Правилам дорожного движения Российской Федерации" [2].

Поскольку "Правила дорожного движения Российской Федерации" обязательны для всех водителей, водитель УПА, работающий на гидрозащитных водоотливных комплексах, должен неукоснительно их соблюдать. Это включает в себя:

- знание и соблюдение сигналов светофоров, дорожных знаков и разметки, а также выполнение указаний регулировщиков;
- предотвращение создания опасных ситуаций для других участников дорожного движения;
- наличие водительского удостоверения и его предъявление по требованию сотрудников полиции;
- обеспечение исправного технического состояния транспортного средства перед началом работы и во время движения.

За нарушение "Правил дорожного движения Российской Федерации" [2] водитель УПА несет ответственность в соответствии с действующим законодательством.

Запрещается эксплуатация УПА при наличии следующих неисправностей: неисправность тормозной системы, неисправность рулевого управления, неисправность сцепного устройства, неисправность фар и задних габаритных огней в темное время суток или в условиях недостаточной видимости, неработающий стеклоочиститель со стороны водителя во время дождя или снегопада.

В случае возникновения неисправностей в пути водитель обязан устранить их. Если это невозможно, он должен следовать к месту стоянки или ремонта, соблюдая все необходимые меры предосторожности.

Водителю УПА также запрещается:

- пересекать организованные колонны (в том числе пешие) и занимать в них место;
- употреблять алкогольные напитки, наркотические, психотропные или иные одурманивающие вещества после дорожно-транспортного происшествия, к которому он причастен, или после остановки транспортного средства по требованию сотрудника полиции, до проведения освидетельствования на состояние опьянения или до принятия решения об освобождении от освидетельствования;

– управлять транспортным средством с нарушением режима труда и отдыха, установленного уполномоченным федеральным органом исполнительной власти.

Водитель УПА перед началом движения, перестроением, поворотом-разворотом и остановкой обязан подавать сигналы световыми указателями. При выполнении маневра не должны создаваться опасность для движения, а также помехи другим участникам дорожного движения.

Водитель УПА должен вести транспортное средство со скоростью, не превышающей установленного ограничения, учитывая при этом интенсивность движения, особенности и состояние транспортного средства, дорожные и метеорологические условия, в частности видимость в направлении движения.

Водитель УПА может пересекать железнодорожные пути только по железнодорожным переездам, уступая дорогу поезду (локомотиву, дрезине).

Водителю УПА запрещается выезжать на переезд:

- при закрытом или начинающем закрываться шлагбауме независимо от сигнала светофора;
- при запрещающем сигнале светофора независимо от положения и наличия шлагбаума;
- при запрещающем сигнале дежурного по переезду;
- если за переездом образовался затор, который вынудит водителя остановиться на переезде;
- если к переезду в пределах видимости приближается поезд (локомотив, дрезина).

Кроме того, запрещается:

- объезжать с выездом на полосу встречного движения стоящие перед переездом транспортные средства;
- самовольно открывать шлагбаум.

В случаях, когда движение через переезд запрещено, водитель должен остановиться у стоп – линии или знака «СТОП», если их нет – не ближе 5 м от светофора или шлагбаума, а при отсутствии светофора или шлагбаума – не ближе 10 м до ближайшего рельса.

Водитель УПА при вынужденной остановке на переезде должен немедленно высадить перевозимых работников и принять меры для освобождения переезда. Одновременно водитель УПА должен:

- при имеющейся возможности послать двух человек вдоль путей в обе стороны от переезда на 1000 м (если одного, то в сторону худшей видимости пути), объяснив им правила подачи сигнала остановки машинисту приближающегося поезда;

– оставаться возле транспортного средства и подавать сигналы общей тревоги;

– при появлении поезда бежать ему навстречу, подавая сигнал остановки.

Сигналом остановки служит круговое движение руки днем с лоскутом яркой материи или каким-либо хорошо видимым предметом, ночью – с факелом или фонарем. Сигналом общей тревоги служат серии из одного длинного и трех коротких звуковых сигналов.

Водитель УПА в темное время суток и в условиях недостаточной видимости независимо от освещения дороги, а также в тоннелях должен включить фары дальнего или ближнего света.

Водитель УПА в светлое время суток должен включить фары ближнего света или дневные ходовые огни.

Вывод

Разработаны требования для Инструкции по охране труда при эксплуатации установки УПА-60/80, предотвращающие аварийность и травматизм при ее передвижении между обслуживаемыми водоотливными комплексами с погружными насосами.

Перечень ссылок

1. Основные требования к порядку разработки и содержанию правил и инструкций по охране труда, разрабатываемых работодателем [утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 29.10.2021 № 772н, зарегистрированы в Минюсте России 26.11.2021 № 66015] – Текст электронный//<https://mintrud.gov.ru/docs/mintrud/orders/2183?ysclid=lvapb3fw2a880785307> (дата обращения 12.08.2024).

2. Совет Министров – Правительство Российской Федерации постановление от 23 октября 1993 г. № 1090 о правилах дорожного движения [утверждены Постановлением Совета Министров – Правительства Российской Федерации от 23 октября 1993 г. N 1090] – Текст электронный//<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=469812&ysclid=lzqohqw0z9731960418> (дата обращения 12.08.2024).

УДК 622. 8:621.86.06

О ПРИЧИНАХ НАРУШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПОЛНЕНИЯ СТРОПАЛЬНЫХ РАБОТ НА ГИДРОЗАЩИТНЫХ И ЗАКРЫВАЮЩИХСЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

В.И. Гриценко, О.Г. Кременев,
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ
В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»
г. Макеевка, ДНР

Аннотация Приведены результаты анализа аварий, несчастных случаев и причин нарушения технологии выполнения стропальных работ на гидрозащитных и закрывающихся угольных шахтах.

Annotation. Results over of analysis of failures are brought, accidents and reasons of violation of technology of implementation of slinging works on hydro protective and closed coal mines.

Ключевые слова: гидрозащитная шахта, закрывающаяся шахта, груз, грузоподъемное оборудование, стропальные работы, строительные работы.

Keywords: hydro protective mine, closing mine, cargo, lifting equipment, slinging work, construction work.

На гидрозащитных и закрывающихся угольных шахтах производят строительные работы на промышленной площадке поверхности шахты и в ее подземных выработках. Эти работы связаны с возведением водоотливных комплексов (ВОК) в вертикальных и наклонных стволах, подземных выработках-водосборниках угольных шахт. В процессе строительства, эксплуатации, ремонта и других работ на ВОК выполняются стропальные работы (СР). Эти работы включают монтажно-демонтажные работы при спуске-подъеме водоотливных труб, погружных насосных агрегатов, другого оборудования и материалов. Кроме того, СР выполняются при разгрузке, перемещении, складировании различных грузов на шахтных объектах, площадках и помещениях для их размещения и хранения. От качественного выполнения технологии СР, зависит безопасность процессов строительства шахтных объектов, монтажа-демонтажа оборудования, подъема, перемещения, складирования грузов как вручную, так и с помощью грузоподъемного оборудования на гидрозащитных и закрывающихся угольных шахтах. Установлено, что СР являются высоко травмоопасными [1]. Поэтому установление причин нарушения

технологии выполнения СР – актуальная задача угольной отрасли.

Цель доклада – установление причин нарушений технологии выполнения стропальных работ на гидрозащитных и закрывающихся угольных шахтах.

Для достижения цели были решены следующие задачи.

1. Проведен анализ аварий и несчастных случаев при выполнении стропальных работ на угольных шахтах ДНР.

2. Выполнен анализ проектов ликвидации шахт Донецко-Макеевского региона, строительства и реконструкции зданий и сооружений при переводе шахт в водоотливной режим, проектов (паспортов) эксплуатации ВОК с погружными насосами гидрозащитных и закрывающихся угольных шахт.

Анализ аварий и травматизма осуществлялся по имеющимся в МАКНИИ актам расследования аварий и несчастных случаев (НС), произошедших на производстве (форма Н-1) в условиях угольных шахт ДНР при выполнении СР. При этом особое внимание уделялось пункту, содержащему сведения о причинах и обстоятельствах произошедших аварий и НС. В результате анализа были установлены основные причины аварий и НС вследствие нарушения технологии выполнения СР (приведены в таблице).

Причины аварий и НС при выполнении СР состоят из организационных, технических и психофизиологических.

Доля организационных причин нарушения технологии выполнения СР составляет 50,6%, психофизиологических – 25,9% и технических – 23,5% от суммы всех анализируемых нарушений выполнения СР.

Среди организационных причин наибольшее значение имеют причины связанные с нарушением технологии СР выполняемых вручную при подъеме и перемещении груза – 22,2%, а также выполняемых с помощью вспомогательных грузозахватных приспособлений – 18,5%.

Среди психофизиологических причин наибольшее значение имеют причины обусловленные личной неосторожностью и нахождением в опасной зоне при выполнении СР вручную – 21,0%.

Технические причины нарушения технологии выполнения СР обусловлены выходом из строя (поломкой) грузоподъемного оборудования – 17,3%, порывами стропов – 4,9%, некачественной разработкой проектной документации – 1,23%.

Таблица – основные причины аварий и НС вследствие нарушения технологии выполнения СР на угольных шахтах ДНР

Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве

Причины аварий и НС при выполнении СР на угольных шахтах	Количество нарушений технологии СР выполняемых				Общая сумма нарушений СР, шт.
	Вручную	с помощью			Доля нарушений от суммы СР, %
		ГПО с ручным приводом	ГПО с механическим приводом; частично механизированные	Вспомогательные ГЗП	
1	2	3	4	5	6
Организационные причины					
Нарушение технологии СР при подъёме и перемещении груза	15	2	3	12	32
Привлечение к СР работника не по профессии «стропальщик»	-	1	-	-	1
Не проведен инструктаж работников о безопасном выполнении СР	-	1	-	1	2
Работа ГПО без предупредительного сигнала	-	-	1	1	2
Подъём вручную груза весом более 50 кг человеком	2	-	-	-	2
Ручной волок длинномера к месту складирования без строп	1	-	-	1	2
Сумма нарушений по организационным причинам, шт (%)	18 22,2%	4 4,94%	4 4,94%	15 18,5%	41 50,6%

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве

Технические причины					
Некачественная разработка проектной документации	1	-	-	-	1 1,23%.
Обрыв строповочной петли	1	-	-	1	2 2,45%
Обрыв троса лебедки	-	1	-	1	2 2,45%
Выход из строя оборудования	1	5	1	7	14 17,3%
Сумма нарушений по техническим причинам, шт (%)	3 3,70%	6 7,41%	1 1,23%	9 11,1%	19 23,5%
Психофизиологические причины					
Личная неосторожность при СР	15	1	-	-	16
Нахождение в опасной зоне	2	2	-	1	5
Сумма нарушений по психофизиологическим причинам, шт (%)	17 20,9%	3 3,70%	-	1 1,23%	21 25,9%
Сумма причин нарушений технологии выполнения СР, шт (%)	38 46,9%	13 16,0%	5 6,18%	25 30,7%	81 100%

Примечание: СР – стропальные работы; ГПО – грузоподъемное оборудование; ГЗ – грузозахватные приспособления

Результаты анализа проектов ликвидации шахт Донецко-Макеевского региона, строительства и реконструкции зданий и сооружений при переводе шахт в водоотливной режим, проектов (паспортов) эксплуатации ВОК с погружными насосами, документов по технологии выполнения стропальных работ на гидрозащитных и закрывающихся шахтах показали, что СР должны выполняются работником по профессии «стропальщик». Он должен быть аттестован квалификационной комиссией и иметь выданное в установленном порядке удостоверение на право самостоятельной работы по соответствующим видам деятельности [1]. На гидрозащитных и закрывающихся шахтах часто работников такой квалификации не

хватает, поэтому в соответствии с [1] к строповке грузов могут допускаться рабочие смежных профессий, обученные по профессии, квалификационной характеристикой которых предусмотрено выполнение работ по строповке грузов. При этом если при выполнении строповочных операций груз перемещается с помощью крана или другого ГПО без предварительной обвязки или захватывается полуавтоматическими захватами, к выполнению обязанностей стропальщиков могут допускаться рабочие основных шахтных профессий (горномонтажник, горнорабочий подземный, горнорабочий поверхности, слесарь, электрослесарь подземный и др.) дополнительно обученные по сокращенной программе, согласованной с органами Ростехнадзора [1]. Практическое осуществление технологии СР работниками гидрозащитных и закрывающихся шахт выполняется в соответствии с проектом организации строительства (ПОС), проектом производства работ (ППР), технологическими картами (ТК) или технологическими схемами (ТС), разработанными с привязкой к условиям конкретного производства и рабочего места [2,3,4].

Перечень ссылок

1. Оксанич, Л.В. Безопасность труда: учебное пособие для стропальщиков по безопасному производству работ грузоподъемными машинами / Л.В. Оксанич. – Текст: электронный // Государственное автономное образовательное учреждение среднего профессионального образования Ишимбайский нефтяной колледж. (Ассоциация ЕАМ): [сайт]. – 2012-2024. – URL: <https://eam.su/bezopasnost-truda.html> (дата обращения 09.04.2025).
2. Правила проведения стропальных и такелажных работ. – Текст: электронный // ООО «АТКЕС»: [сайт]. – 2011. – URL: <https://atkes.ru/index.php/stati-po-remontu/545-pravila-provedeniya-stropalnykh-i-takelazhnykh-rabot> (дата обращения 29.04.2025).
3. Методические рекомендации по разработке и оформлению технологической карты. МДС 12-29.2006 — Редакция от 01.01.2007. – Текст: электронный // Контур.Норматив: [сайт]. – 2021. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=373068> (дата обращения 28.04.2025).
4. Порядок разработки технологической карты (ТК). – Текст: электронный // P-P-R.ru: [сайт]. – 2009-2025. – URL: <https://p-p-r.ru/blog/proekt-proizvodstva-rabot-ppr/poryadok-razrabotki-tekhnologicheskoy-karty-tk> (дата обращения 28.04.2025).

УДК 622.817

КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА МАССЫ ИНЕРТНОЙ ПЫЛИ И ВОДЫ В ШАХТНЫХ ПОЛОЧНЫХ ЗАСЛОНАХ

В.Ю. Деревянский, В.В. Деньга
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ГОРНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ»
(ГБУ «МАКНИИ»),
г. Макеевка, ДНР

Аннотация. *Выполнен анализ недостатков приведенной в «Инструкции по аэрологической безопасности угольных шахт» методики расчета массы инертной пыли и воды в сланцевых и водяных полочных заслонах, предназначенных для локализации взрывов в угольных шахтах. Разработаны предложения по их устранению.*

Annotation. *The analysis of the shortcomings of the methodology for calculating the mass of inert dust and water in shale and water shelf barriers designed to localize explosions in coal mines, given in the "Instructions for the Aerological safety of coal mines", has been carried out. Proposals have been developed to eliminate them.*

Ключевые слова: *угольная шахта, горная выработка, локализация взрыва, заслон, инертная пыль, вода.*

Keywords: *coal mine, mining, explosion localization, barrier, inert dust, water.*

Как показывает практика, взрывы газо- и пылегазовых смесей в угольных шахтах приводят к многочисленным жертвам и значительному материальному ущербу. Для снижения тяжести последствий таких аварий в шахтах применяются средства локализации взрывов, наиболее распространенными из которых являются сланцевые и водяные полочные заслоны. Действие полочного заслона основано на том, что возникающая при взрыве воздушная ударная волна опрокидывает полки с инертной пылью или с сосудами, заполненными водой, и образующееся при этом облако распыленной инертной пыли или воды охлаждает и гасит пламя взрыва [1]. Эффективность заслонов зависит не только от их конструкции и правильно выбранных мест установки, но и от того, какими веществами они укомплектованы и их

количества.

Цель работы – анализ недостатков существующей методики расчета массы инертной пыли и воды в шахтных полочных заслонах и разработка предложений по их устранению.

Требования по выбранному направлению исследования регламентированы «Инструкцией по аэрологической безопасности угольных шахт» [2]:

- сланцевый заслон монтируется длиной не менее 20 м (п. 737);
- количество инертной пыли в сланцевых заслонах определяется из расчета 400 кг на 1 м² сечения горной выработки в свету в месте установки сланцевого заслона (п.738);
- в сосуды и водяные карманы заливаются вода, водные растворы или огнетушащие жидкости; количество огнетушащей жидкости в водяных заслонах определяется из расчета 440 л на 1 м² поперечного сечения горной выработки в свету в месте установки водяного заслона (п.743);
- водяной заслон монтируется длиной не менее 30 м (п. 751).

В пунктах 738 и 743 требуют устранения недостатки терминологического характера:

- поскольку инертная пыль и вода – это не штучный материал, термин «количество» должен быть заменен на «масса» (отметим, что этот недостаток существует в отечественных нормативных документах еще с «Правил безопасности в каменноугольной и сланцевой промышленности», введенных в действие в 1939 году);
- термин «сечение» следует заменить на «площадь поперечного сечения...».

Термин «не менее» 20 метров для сланцевого (п. 737) и 30 метров для водяного (п. 751 «Инструкции» [2]) полочного заслона не конкретен и, в принципе, означает любую длину, начиная от указанных значений. На практике так и происходит. Приведем пример.

11.03.2000 в 12 часов 55 минут на шахте им. Н.П. Баракова Государственной холдинговой компании «Краснодонуголь» в результате взрыва угольной пыли было травмировано 87 чел., в т.ч. 80 – смертельно. Авария произошла в 31-м западном штреке пл. k_5^H гор. 664 м на сопряжении с магистральным штреком. К аварии привело образование пылевоздушной смеси (ПВС) взрывоопасной концентрации в 31-м западном штреке пл. k_5^H гор. 664 м поднятием во взвешенное состояние угольной пыли кислородом, свободно вытекающим под высоким давлением из разгерметизированного кислородного баллона. Источником воспламенения ПВС явилось горение масла и корпуса редуктора кислородного баллона с высоким

содержанием кислорода. Из «Докладной записки о ходе горноспасательных работ», подписанной их руководителем: «... По центральному вентиляционному ходу: сланцевый заслон №4, расположенный в 280 м от 31-го западного штрека сработал, ориентировочная длина заслона 35-37 м... По 31-му западному конвейерному штреку пл. k_5^H гор. 664 м: сланцевый заслон №1, находящийся в 80 м от сопряжения с центральным вентиляционным ходом, сработал, инертная пыль рассыпана на протяжении 40 м, ориентировочная длина заслона 35-36 м...» и т.д.

С точки зрения эффективности локализации взрыва, имеет ли значение, на каком протяжении горной выработки будет распылена рассчитанная в соответствии с п. 738 «Инструкции» [2] масса инертной пыли – на 20-ти метрах или на 37-ми (т.е. почти в два раза больше)? Безусловно.

Перечисленные в п. 743, и предназначенные для оснащения водяных заслонов, вода, водные растворы и огнетушащие жидкости обладают разной эффективностью, однако это игнорируется, и их масса в заслоне определяется одинаково – 440 л (отметим, что ранее, еще со времен СССР, было 400 л) на 1 м² площади поперечного сечения горной выработки.

Вызывает возражение подход к расчету массы огнетушащих веществ для заслонов, при котором площадь поперечного сечения горной выработки и длина заслона используются отдельно друг от друга. Анализ доступных авторам литературных источников не позволил найти обоснования такой методики. Поскольку полочные заслоны являются зарубежной разработкой, то, скорее всего, указанная методика тоже пришла оттуда.

Для устранения этого недостатка целесообразно составить уравнение, в котором расчет массы заполняющего заслон вещества ведется не для сечения, а на объем того участка горной выработки, в котором должна быть создана с помощью заслона непреодолимая для взрыва «пробка». Необходимое значение даст произведение объема этой «пробки» на минимальное количество вещества на один кубический метр объема, обеспечивающее гашение пламени (или «гашение взрыва», если применяемое вещество обладает дополнительно еще и свойством гашения ударной воздушной волны). Предлагаемое уравнение имеет вид:

$$m = S_{сб} \cdot \ell \cdot C, \quad (1)$$

где m – масса огнетушащего (взрывоподавляющего) вещества в

заслоне, кг;

$S_{св}$ – площадь поперечного сечения горной выработки в свету в месте установки заслона, m^2 ;

ℓ – длина заслона, м;

C – минимальная концентрация огнетушащего (взрывоподавляющего) вещества, при которой достигается гашение пламени (или взрыва – пламени и ударной воздушной волны), $кг/м^3$. Для инертной пыли минимальное количество огнетушащего вещества $C = 0,788 кг/м^3$ [3], известное значение для воды – $C = 0,5 л/м^3$.

Значение C получено автором [3] экспериментальным путем. С учетом того, что характеристики инертной пыли у разных производителей неодинаковы, поэтому можно предположить, что у инертной пыли другого производителя величина C будет отличаться от приведенного выше значения. Поэтому округлим в большую сторону и примем для инертной пыли $C = 1 кг/м^3$.

Выполним расчет массы инертной пыли и воды в заслоне в соответствии с «Инструкцией...» [2] и по предложенному уравнению (1), и сравним полученные результаты. Для простоты вычислений примем площадь поперечного сечения горной выработки в свету, равной $S_{св}=10 м^2$.

Для полочного заслона, укомплектованного инертной пылью:

- согласно «Инструкции...» [2]:

$$m=400 \cdot S_{св} = 400 \cdot 10 = 4000 кг;$$

- по уравнению (1):

$$m=S_{св} \cdot \ell \cdot C=10 \cdot 20 \cdot 1=200 кг.$$

Для полочного заслона, укомплектованного водой:

- согласно «Инструкции...» [2]:

$$m=440 \cdot S_{св} = 440 \cdot 10 = 4400 кг;$$

- по уравнению (1):

$$m=S_{св} \cdot \ell \cdot C=10 \cdot 30 \cdot 0,5=150 кг.$$

Таким образом, полученные результаты массы огнетушащего вещества, которым должен укомплектовываться полочный заслон, для инертной пыли отличаются в 20 раз, для воды – почти в 30 раз.

Перегруз полочных заслонов приводит не только к нерациональным затратам финансовых средств на приобретение огнетушащих веществ, потерям рабочего времени на их доставку, насыпку (заполнение), обметание и т.д., но также к тому, что утяжеленные, перегруженные заслоны не срабатывают (не опрокидываются полки) при «тихих» взрывах.

Предложенное уравнение (1) требует экспериментальной проверки, и в случае получения положительных результатов, должно быть использовано при расчетах массы веществ, заполняющих сланцевые и водяные полочные заслоны.

Вывод. Выполнен анализ недостатков существующей методики расчета массы инертной пыли и воды в сланцевых и водяных полочных заслонах, используемых для локализации взрывов газо- и пылегазовых смесей в угольных шахтах. Разработаны предложения по их устранению, в том числе предложено уравнение для расчета массы инертной пыли и воды в сланцевых и водяных полочных заслонах.

Перечень ссылок

1. Кудинов Ю.В. Безопасность работ и охрана труда в угольных шахтах / под ред. д-ра техн. наук Ю.В. Кудинова и канд. техн. наук Т.Я. Мхатвари; Ю.В. Кудинов, Н.В. Малеев, В.А. Безбородов, Т.Я. Мхатвари. – Донецк: ФЛП Муравецкий О.Н., 2021. – 256 с.

2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт» (в ред. Приказа Ростехнадзора от 08.06.2022 № 183), утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 г. № 506. – Текст: электронный //URL:[https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostehnadzora-ot-08.12.2020-N-506/?ysclid= m4l3iih flg995671693](https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostehnadzora-ot-08.12.2020-N-506/?ysclid=m4l3iih flg995671693) (дата обращения 25.04.2025).

3. Шевцов Н.Р. Экспериментальные данные по предотвращению воспламенений метановоздушной смеси взрывом заряда ВВ // Сб. науч. тр. / ДонГТУ. Сер. горно-геологическая. – 2001. – Вып. 23. – С. 32-36.

УДК 622.817

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЗРЫВОПОДАВЛЯЮЩИМ ВЕЩЕСТВАМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫМ ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ СРЕДСТВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

В.Ю. Деревянский, В.В. Деньга
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ГОРНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ»
(ГБУ «МАКНИИ»),
г. Макеевка, ДНР

***Аннотация.** В работе предложено ввести в действующие стандарты норму об оснащении шахтных средств локализации взрывов веществами, наряду с функцией тушения пламени, обеспечивающими еще и гашение ударной воздушной волны. Сформулированы основные требования к таким веществам.*

***Annotation.** The paper proposes to introduce into the current standards a norm on equipping mine explosion containment facilities with substances, along with the flame extinguishing function, which also provides extinguishing of the shock air wave. The basic requirements for such substances are formulated.*

***Ключевые слова:** угольная шахта, горная выработка, локализация взрыва, заслон, инертная пыль, вода.*

***Keywords:** coal mine, mining, explosion localization, barrier, inert dust, water.*

Добыча угля в подземных выработках шахт сопровождается большим количеством опасных и вредных производственных факторов. Наиболее тяжелыми по своим последствиям являются взрывы газо- и пылегазовых смесей. В течение 2014-2022 гг. в угольной промышленности Донецкой Народной Республики от взрывов погибло 48 чел. (34,29% в общей структуре всего смертельного травматизма в отрасли).

Для снижения тяжести последствий таких аварий и недопущения перерастания одиночного взрыва в катастрофу на шахтах применяются средства локализации взрывов. Указанные средства препятствуют распространению фронта пламени произошедшего взрыва по горным

выработкам, не позволяют воспламенить на пути его прохождения взрывоопасные скопления метана и угольной пыли. Наиболее распространенными средствами локализации взрывов являются сланцевые и водяные полочные заслоны. Как показывает практика, эффективность заслонов во многом зависит от того, какими веществами они укомплектованы.

Цель работы – анализ недостатков существующих стандартов и разработка основных требований к взрывоподавляющим веществам, предназначенным для оснащения средств локализации взрывов газо- и пылегазовых смесей в угольных шахтах.

Согласно ГОСТ Р 56690-2015 [1], сланцевые заслоны применяют для предотвращения распространения взрывов пылегазовоздушной смеси по горным выработкам в угольных шахтах. Сланцевые заслоны используют для тушения фронта пламени, образовавшегося в результате взрыва пылегазовоздушной смеси и ограничения распространения таких взрывов по горным выработкам. Принцип предотвращения распространения взрывов по горным выработкам заключается в том, что ударно-воздушная волна, образованная в результате взрыва метана и угольной пыли, при подходе к сланцевому заслону разрушает полки с инертной пылью. Инертная пыль переходит во взвешенное состояние по всему сечению выработки и гасит подошедший фронт пламени, возникший в результате взрыва.

В соответствии с ГОСТ Р ЕН 14591-2-2012 [2], водяные заслоны являются автономными системами защиты, позволяющими уменьшить последствия воспламенения рудничного газа и/или взрывов в подземных выработках до приемлемого уровня безопасности. Водяные заслоны применяют для предотвращения распространения взрывов в выработках в подземных угольных шахтах. Водяные заслоны применяют для тушения пламени, образовавшегося в результате взрывов, в подземных выработках и ограничения распространения взрывов. Благодаря особой конструкции и расположению, водяные заслоны позволяют предотвратить распространение взрывов и возникновение опасных цепных реакций, а также препятствуют детонации зарождающихся взрывов. Принцип предотвращения распространения взрыва заключается в том, что взрывная волна разрушает отдельные сосуды водяных заслонов, заполненные водой. Вода разливается по всему сечению выработки и гасит пламя, возникшее в результате взрыва.

Рассмотрим в качестве примера конкретную аварию. 04.04.1998 в 09 часов 59 минут на шахте им. А.А. Скочинского Государственной холдинговой компании «Донуголь» произошел взрыв

метановоздушной смеси (МВС) и угольной пыли. Погибли 63 шахтера, еще 12 получили травмы разной степени тяжести. Взрыв произошел в надбункерном пространстве западного магистрального конвейерного штрека. Взрывоопасная МВС образовалась в застойной непроветриваемой зоне, в незаполненной углем части бункера и над бункером в результате выделения метана из угля, находящегося в бункере. Причиной накопления взрывоопасной концентрации угольной пыли в западном и восточном магистральных конвейерных штреках явилось несвоевременное и некачественное выполнение мероприятий по пылевзрывозащите. Источником воспламенения МВС явилось искрение в коробке ввода с нарушенной взрывозащитой электродвигателя привода ленточного конвейера 1Л80 №1 1-й восточной лавы пл. h_6' . Воспламенение МВС привело к взрыву угольной пыли, распространившемуся по выработкам выемочных участков 1-й западной и 1-й восточной лав пл. h_6' .

Из опросов застигнутых этой аварией шахтеров: «... раздался хлопок. Меня бросило... пошла пыль, поднялась температура воздуха. Ничего не видно...»; «... произошло следующее: хлопок, из бункера посыпался уголь, выскочило пламя, пыль, летали брусья. Меня бросило в сторону, перевернуло. Питатель упал на ленточный конвейер и смял его...»; «... я услышал сильный взрыв, меня ударной волной перевернуло, каску отнесло в сторону. Когда я посветил лампой вокруг, то ничего не было видно из-за запыленности...»; «... я почувствовал, что резко увеличилась скорость воздуха и понесло угольную пыль из окна лавы. Я крикнул ребятам «ложитесь на почву». Над нами пронеслась какая-то волна. После этого мы немного пришли в себя, включились в самоспасатели и начали двигаться в сторону свежей струи...» и т.д. Все опрошенные находились в разных местах, на разном удалении от эпицентра взрыва, но все они свидетельствуют о прохождении по горным выработкам ударной воздушной волны. Подобные свидетельства имеются и в показаниях очевидцев других аварий.

По этическим соображениям не приводим выписки из заключений судебно-медицинской экспертизы с описанием механических травм шахтеров, погибших от воздействия ударной воздушной волны.

Из «Докладной записки о ходе ведения горноспасательных работ» руководителя горноспасательными работами: «... в 18-ти метрах в сторону конвейерного ходка 6-й западной лавы стоят 9 вагонеток и 3 платформы. 2 вагонетки (первые по ходу вентиляционной струи) забурены с 4-х колес и расположены перпендикулярно

рельсовому пути. Далее в 40-ка метрах обнаружены фрагменты разбитых вентиляционных дверей...»; «...конвейерный ходок 6-й западной лавы... находится в более поврежденном состоянии, чем вентиляционный штрек: ... рельсовый путь и трубопровод сорваны по всей длине, в 17,5 метрах от сопряжения с западным магистральным конвейерным штреком находится распределительный пункт – пускатели опрокинуты...»; «... на сопряжении западного магистрального конвейерного штрека с конвейерным ходком №1 обнаружено обрушение... Под обрушением находятся 2 вагонетки...»; «... в 32-х метрах от сопряжения конвейерного ходка 6-й западной лавы с магистральным конвейерным штреком находится «сухая» подстанция, развернутая на 10-15 градусов против хода вентиляционной струи...» и т.д.

Все вышеизложенное указывает на действие ударной воздушной волны, распространившейся по горным выработкам. Аналогичная картина имеет место и в других авариях, из чего можно сделать вывод о недостаточности требований стандартов [1,2], ориентирующий производителей веществ, которыми комплектуются заслоны в угольных шахтах, только на тушение пламени. Такое требование справедливо для автоматических заслонов, типа АВП-1 и СЛВА [3], предназначенных для локализации взрывов в их начальной стадии. Для заслонов, предназначенных для недопущения распространения взрывов по сети горных выработок, в обязательном порядке должно быть введено требование об их оснащении веществами, наряду с функцией тушения пламени, обеспечивающими еще и гашение ударной воздушной волны.

Используемые в настоящее время в заслонах вещества (вода, водные растворы, инертная пыль и специальные порошки) направлены на ликвидацию пламени и несколько (каждый вид огнетушащего вещества в разной, но незначительной степени) влияют на снижение энергии распространяющейся по горным выработкам ударной воздушной волны. При этом пена – огнетушащее вещество, одновременно обеспечивающее наиболее эффективное (в сравнении с другими подобными веществами) гашение ударной волны [4], вообще не используется для оснащения заслонов в угольных шахтах.

На основе проведенного анализа сформулированы следующие основные требования к взрывоподавляющим веществам:

- обеспечивать наиболее достижимую эффективность гашения не только пламени, но и ударной воздушной волны при минимальном количестве этого вещества;
- быть простыми в применении, обладать ценовой доступностью

и возможностью организации производства в достаточных объемах для обеспечения угледобывающих предприятий;

- не оказывать вредное (опасное) воздействие на человека и окружающую среду, превышающее допустимые значения;

- не требовать частой замены и сохранять свои свойства на протяжении максимально длительного времени при нахождении в подземных условиях угольных шахт. Для соблюдения данного требования должно отдаваться предпочтение созданию заслонов закрытого типа, не допускающих непосредственного контакта взрывоподавляющего вещества с шахтной атмосферой.

Создание и внедрение взрывоподавляющих веществ, удовлетворяющих этим требованиям, позволит повысить эффективность применяемых в угольных шахтах средств локализации взрывов газо- и пылегазовых смесей за счет защиты шахтеров от воздействия ударной воздушной волны.

Вывод. Проведенный анализ выявил недостаточность требований действующих стандартов, ориентирующих производителей веществ, которыми комплектуются заслоны для локализации взрывов в угольных шахтах, только на тушение пламени. Такие вещества должны обеспечивать еще и гашение ударной воздушной волны. Сформулированы основные требования к взрывоподавляющим веществам.

Перечень ссылок

1. ГОСТ Р 56690-2015 Оборудование горно-шахтное. Пассивные средства локализации взрывов. Сланцевый заслон. Общие технические условия, утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 ноября 2015 г. № 1708-ст. – Текст: электронный //URL:<https://internet-law.ru/gosts/gost/61081/?ysclid=m4lb6p08zs223238298> (дата обращения 25.04.2025).

2. ГОСТ Р ЕН 14591-2-2012 Горные выработки подземные. Системы взрывопредупреждения и взрывозащиты. Часть 2. Пассивные водяные заслоны. – Текст: электронный // URL:<https://internet-law.ru/gosts/gost/53871/?ysclid=m4lbbfxn4l335678917> (дата обращения 25.04.2025).

3. Кудинов Ю.В. Безопасность работ и охрана труда в угольных шахтах / под ред. д-ра техн. наук Ю.В. Кудинова и канд. техн. наук Т.Я. Мхатвари; Ю.В. Кудинов, Н.В. Малеев, В.А. Безбородов, Т.Я. Мхатвари. – Донецк: ФЛП Муравецкий О.Н., 2021. – 256 с.

4. Пикельный В.И. Использование пены для гашения ударной воздушной волны, пыли и газов при вторичном дроблении / В.И. Пикельный, М.Н. Шульга, В.М. Задара, Ф.И. Караманец, В.И. Пивнев // Безопасность труда в промышленности, 1991. – № 4. – С. 8-10.

УДК 004.8:681.5

АНАЛИЗ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Епифанов В.А., д-р. экон. наук., профессор, ORCID 0000-0003-1741-4253,
Михеева А.Д.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»,
г. Москва, РФ

annamiheeva01@mail.ru, epiphanov@yandex.ru

Введение. *Спрос на качественное и доступное жилье растет, поэтому одной из приоритетных задач в наше время является оптимизация проектирования жилых домов. Урбанизация и рост населения требуют от строительной отрасли инновационных решений и современных технологий. Качество жизни, устойчивое развитие городов, а также сохранение среды находится в прямой зависимости от эффективности в этой сфере.*

Introduction. *The demand for quality and affordable housing is increasing, so one of the priority tasks nowadays is to optimize the design of residential buildings. Urbanization and population growth require innovative solutions and modern technologies from the construction industry. Quality of life, sustainable urban development and environmental preservation directly depend on efficiency in this area.*

Ключевые слова. *Проектирование. Развитие. BIM-технологии. Искусственный интеллект. 3D-печать. Устойчивое строительство. Строительство.*

Keywords. *Design. Development. BIM-technologies. Artificial intelligence. 3D printing. Sustainable construction. Construction.*

Целью данной исследовательской работы является рассмотрение ключевых тенденций и подходов, способствующих улучшению качества и ускорению реализации проектов.

Основная часть. Одной актуальных тенденций в современных условиях является внедрение в процесс проектирования жилых зданий BIM-технологий.

BIM - процесс коллективного создания и использования информации о сооружении, формирующий основу для всех решений на протяжении жизненного цикла объекта (от планирования до проектирования, выпуска рабочей документации, строительства, эксплуатации и сноса) [1].

Данная технология в последние годы стала популярной, во многих компаниях массово переводят сотрудников с ранее используемых программ, таких как AutoCAD на Autodesk Revit. Работа в этом программном комплексе позволяет создавать 3D модель здания и его частей, инженерных коммуникаций и их составных частей. Модель объекта, созданная в Revit, содержит в себе все характеристики здания, оборудования, инженерных коммуникаций, необходимые для успешной реализации проекта. Помимо этого, в модели предусмотрена возможность совместной работы, таким образом проектировщики отвечающие за разные инженерные коммуникации и части здания (архитекторы, конструкторы, инженеры отопления, вентиляции и кондиционирования, инженеры внутреннего водоснабжения и канализации, инженеры электроснабжения и т.д.) могут работать в одной и той же модели одновременно, однако при такой работе необходимо достаточно часто синхронизироваться с данным хранилища, для того, чтобы у всех работающих в программе инженеров были актуальные данные. Также в программе автоматизированы многие процессы.

Преимущества применения BIM-технологий:

- Улучшенное планирование и координация. Модель содержит в себе всю необходимую информацию об архитектуре, инженерных коммуникациях и строительных аспектах объекта.
- Минимизация ошибок и рисков. Благодаря визуализации и возможности посмотреть модель в 3D вероятность ошибок снижается.
- Экономия средств и времени. Ускоряется процесс конструирования и проектирования, соответственно уменьшаются затраты на весь проект.
- Эффективное управление информацией. Вся информация о проекте находится в одном месте, это позволяет каждому участнику проекта получать обновленные данные в реальном времени.
- Интеграция с современными технологиями.

Недостатки применения BIM-технологий:

- Высокие начальные затраты
- Необходимость в обучении
- Сложность в интеграции
- Риски устаревания технологий
- Проблемы с защитой данных

Немаловажным аспектом жилищного строительства является глобальное изменение климата и растущий в обществе интерес к экологии. В связи с этим возникло устойчивое проектирование.

Устойчивое проектирование – это подход, который подразумевает

использование энергосберегающих технологий, экологически чистых материалов и методов, минимизирующих воздействие на окружающую среду [2].

Устойчивое проектирование, направленное на создание баланса между человеческим развитием и сохранением окружающей среды.

Преимущества устойчивого проектирования:

- Экологичность
- Экономическая эффективность
- Комфорт и здоровье граждан
- Стимул для разработки и введения инноваций

Недостатки устойчивого проектирования:

- Высокие начальные затраты
- Сложности в строительстве
- Ограниченный рынок технологий
- Необходимость в обучении

Также достаточно популярной тенденцией в сфере строительства стало модульное (блочное/секционное) строительство и 3D-печать зданий.

Модульное строительство – метод, подразумевающий проектирование зданий из модулей (секций), которые производятся на заводе и доставляются на строительную площадку для последующего монтажа. Каждый отдельно взятый модуль может содержать не только стены, окна, двери, но и инженерные коммуникации.

Преимущества [3]:

- Сокращения общего времени строительства
- Так как секции производятся на заводе, можно контролировать качество материалов и сборки
- Более экономичный вариант строительства
- Модули легко адаптировать под желания заказчика
- Материалы более эффективно используются, в связи с чем образуется меньшее количество отходов

Недостатки:

- Ограничение со стороны архитектурных и дизайнерских решений
- Транспортировка модулей на строительные площадки может быть весьма дорогостоящей
- Качество модулей зависит от производственных мощностей и технологий завода
- Ограниченная высота зданий. Применяется в основном для малоэтажных зданий
- Необходимость точного планирования. Ошибки на этапе

проектирования могут обернуться большими проблемами при сборке.

3D-печать зданий – процесс создания строительных объектов с помощью аддитивных технологий, при которых материал (например, бетон) наносится слоями для формирования структуры. Эта технология позволяет создавать элементы, так и все здание целиком [4].

Преимущества:

- Скорость и эффективность
- Снижение затрат
- Гибкость дизайна
- Минимизация отходов
- Экологичность

Недостатки:

- Специализированное оборудование
- Регулирование и стандарты
- Ограничение по высоте
- Высокая стоимость
- Региональная доступность

В настоящее время активно осваивается использование искусственного интеллекта (далее ИИ), строительная отрасль также не является исключением. С помощью ИИ открывается больше возможностей для улучшения уже существующих процессов, что будет благоприятно влиять на эффективность управления строительными проектами и качество итогового продукта [5].

Область применения ИИ достаточно велика и скорее всего будет расширяться. Системы способны создавать трехмерные модели, анализировать различные планировочные решения и учитывать такие факторы, как освещение, теплоизоляция и материалоемкость. Также ИИ можно использовать для анализа большого объема данных, необходимых для разработки проекта, прогнозирования бюджетов, сроков выполнения тех или иных задач, выявления рисков. Данный способ применения поможет минимизировать простои и более точно планировать ресурсы.

Использование ИИ позволяет улучшить безопасность на стройплощадках за счет анализа данных об инцидентах и выявления закономерностей, приводящих к авариям.

Благодаря ИИ разрабатываются строительные роботы, повышающие эффективность работы на стройплощадке. Эти роботы, оснащенные автономными системами, способны выполнять рутинные задачи, такие как перемещение грузов и простые строительные операции, освобождая людей от тяжелого физического труда.

Преимущества:

- Увеличение производительности
- Снижение затрат
- Улучшение качества и безопасности
- Анализ больших данных

Недостатки:

- Значительные первоначальные инвестиции
- Сложности в интеграции
- Проблемы с данными
- Этические и правовые вопросы

Заключение. В современных условиях анализ проектирования жилищного строительства выявляет необходимость интеграции инновационных технологий и устойчивых практик для обеспечения качественного и доступного жилья. Такой подход не только отвечает потребностям населения, но и способствует устойчивому развитию городов, повышению качества жизни и обеспечению экологической устойчивости.

Перечень ссылок

1. Проектирование инженерных систем на основе BIM-модели в Autodesk Revit MEP : учебное пособие для СПО /И. И. Суханова, С. В. Федоров, Ю. В. Столбихин, К. О. Суханов. -2-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2023. -148 с.: ил. - Текст: непосредственный.
2. Шамаева Т.В., Основы устойчивого развития в архитектуре: учебно-методическое пособие / Т.В. Шамаева, И.М. Беленя; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра архитектуры. Москва: Издательство МИСИ - МГСУ, 2022.
3. Курманова Е.Е., Таратута В.Д. Модульные здания: преимущества и недостатки//Вестник науки. 2020. Т.3, С. 158-160. № 6(27) EDN BTHZBQ.
4. Иноземцев А.С., Королев Е.В., Зыонг Тхань Куй. Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 7 (118). С. 863–876. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.863-8761.
5. Искусственный интеллект в строительстве. Примеры ИИ для строительной отрасли [Электронный ресурс]. URL: <https://goo.su/IBUN>

УДК 621.565.53

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ МЕТАНА В ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ПРИ ОТСУТСТВИИ ВЕНТИЛЯЦИИ

В.В. Захарова (ассистент)

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»,
ДНР, г. Донецк

Е.В. Подвигина (научный руководитель)

К.А. Подвигин (доцент)

ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»,
г. Череповец

Аннотация: В данной статье проводится теоретический анализ процесса накопления метана в тупиковых выработках угольных шахт при отсутствии вентиляции. Угольные шахты представляют собой высокорисковые объекты, где уровень накопления метана может привести к серьезным угрозам для здоровья и безопасности шахтеров. Исследование направлено на выявление закономерностей, определяющих динамику накопления метана в замкнутых пространствах, а также на оценку влияния различных факторов, таких как температура, давление и состав угля, на этот процесс. В статье рассматриваются теоретические модели, описывающие механизмы образования и накопления метана, а также возможные сценарии его вспышки и взрыва.

Abstract: This paper provides a theoretical analysis of methane accumulation in unventilated coal mine blind tunnels. Coal mines are high-risk sites where methane accumulation levels can pose serious health and safety risks to miners. The study aims to identify patterns that determine the dynamics of methane accumulation in confined spaces, as well as to assess the impact of various factors, such as temperature, pressure, and coal composition, on this process. The article examines theoretical models that describe the mechanisms of methane formation and accumulation, as well as possible scenarios for its outbreak and explosion.

Ключевые слова: безопасность, авария, пожар, метан, взрыв.

Key words: safety, accident, fire, methane, explosion.

Введение. Безопасность труда в угольных шахтах представляет собой одну из ключевых проблем горной промышленности, где риск возникновения аварий и несчастных случаев постоянно высок. Одной из наиболее опасных угроз на таких предприятиях является накопление метана — газа, который образуется в процессе угледобычи и может привести к катастрофическим последствиям, включая взрывы.

Отсутствие надлежащей вентиляции в тупиковых выработках усугубляет эту проблему, создавая условия, при которых метан может накапливаться в значительных количествах. В данной статье рассматриваются механизмы накопления метана в условиях ограниченной вентиляции, а также факторы, влияющие на динамику этого процесса. Работа посвящена созданию теоретической базы для дальнейшего понимания особенностей поведения метана в угольных шахтах и выработки рекомендаций по улучшению условий безопасности труда, что крайне актуально в свете увеличения объемов угледобычи и возможных последствий для здоровья работника.

Объектом исследования являются процессы накопления метана в тупиковых выработках угольных шахт при недостаточной вентиляции. В рамках данного исследования выполнен анализ факторов, способствующих образованию и скоплению метана, а также механики его движения и распределения в замкнутом пространстве шахты.

Целью исследования является анализ механизмов накопления метана в тупиковых выработках с недостаточной вентиляцией, для выявления факторов, способствующих образованию газоопасных ситуаций. Исследование направлено на разработку методов и рекомендаций по улучшению вентиляционных систем, оценки рисков и повышению уровня безопасности работников в условиях угледобычи.

Методы исследования, использованные в данной работе, включают сочетание теоретических и практических подходов, направленных на глубокий анализ процессов накопления метана в угольных шахтах. В первую очередь, применяются аналитические методы, которые позволяют исследовать физико-химические свойства метана, а также его поведение в зависимости от различных факторов, таких как температура, давление и состав атмосферы внутри шахты.

Для более детального понимания процессов, связанных с вентиляцией, используется численное моделирование, включающее компьютерные симуляции потоков воздуха и концентрации газа в шахтах. Это поможет проанализировать различные сценарии работы вентиляционных систем и выяснить, как изменения в их конструкции или параметрах эксплуатации влияют на уровень безопасности.

Результаты исследования. Создание математической модели накопления метана в тупиковых выработках угольной шахты с недостаточной вентиляцией требует учета различных факторов, влияющих на динамику накопления газа. Общий вид такой модели можно выразить с помощью системы дифференциальных уравнений,

которые описывают изменение концентрации метана с течением времени.

Основные аспекты, которые следует учитывать, включают:

1. Процесс выделения метана: Выделение метана происходит в результате биохимических процессов, а также при горении угля. Это может быть описано уравнением:

$$\frac{dm}{dt} = R - D, \quad (1)$$

где m – масса метана;

R – скорость выделения метана (положительное значение),

D – скорость, с которой метан уходит из системы (например, через вентиляцию или утечки).

2. Подвижность газа: поскольку метан может перемещаться в зависимости от изменений давления и температуры, также необходимо учитывать его диффузию. Это может быть описано уравнением диффузии:

$$\frac{dc}{dt} = D_m \cdot \nabla^2 \cdot c, \quad (2)$$

где c – концентрация метана;

D_m – коэффициент диффузии метана;

∇^2 – оператор Лапласа.

3. Влияние вентиляции: В случае недостаточной вентиляции скорость удаления метана из тупиковых выработок может быть низкой. Скорость удаления метана из горной выработки может быть описана следующим образом:

$$D = k \cdot V, \quad (3)$$

где k – коэффициент вентиляции;

V – объем вентиляционного потока.

4. Баланс массы: общий баланс массы метана в пределах контрольного объема может быть описан следующим образом:

$$\frac{dm}{dt} = R - D - \alpha \cdot m \quad (4)$$

где α – коэффициент, учитывающий исчезновение метана из системы (например, из-за сгорания или реакции с окружающей средой).

Для решения данной модели необходимо определить граничные условия, учитывающие начальные концентрации метана и условия на границах системы (например, вентиляция или возможность утечек).

Таким образом, общая математическая модель накопления метана в тупиковых выработках может быть представлена как система

уравнений, которые связывают динамику выделения, диффузию и вентиляцию с изменением концентрации метана во времени и пространстве. Для учета температуры воздуха, давления и состава угля, включая его пористость, следует использовать более сложный подход, который будет основан на взаимодействии с физическими и химическими процессами, происходящими в угле и в рудничной атмосфере выработок.

Температурная зависимость: температура влияет на скорость диффузии и процессы десорбции метана. Для учета этого эффекта можно воспользоваться уравнением Ареньи:

$$D_m = D_0 \cdot e^{-\frac{E_\alpha}{R \cdot T}} \quad (5)$$

где D_0 – предэкспоненциальный фактор;

E_α – энергия активации;

R – универсальная газовая постоянная;

T – температура в Кельвинах.

Это уравнение позволяет учесть, как увеличивается скорость диффузии метана с повышением температуры.

Давление также влияет на растворимость и выделение метана из угля. Чем выше давление, тем больше метана может находиться в растворенном состоянии. Для учета этого эффекта можно использовать уравнение состояния идеального газа в контексте метана:

$$PV = n \cdot R \cdot T, \quad (6)$$

перепишем его с учетом массовой концентрации метана:

$$C_m = \frac{P}{R \cdot T} \quad (7)$$

Это уравнение связывает концентрацию метана с давлением и температурой.

Пористость угля влияет на доступность метана для диффузии и десорбции. Для учета пористости можно использовать модель пофазного уравнения, предполагая, что скорость выброса метана пропорциональна его пористости:

$$R = k_p \cdot \phi \cdot (C_m - C_a) \quad (8)$$

где k_p – коэффициент, учитывающий скорость выброса метана;

ϕ – пористость угля;

C_m и C_a – концентрация метана в угле и в воздухе соответственно.

Таким образом, объединив все компоненты, мы можем записать уравнение, учитывающее термодинамику:

$$\frac{dC_m}{dt} = D_m \cdot \nabla^2 \cdot C_m + R - D - \alpha \cdot C_m \quad (9)$$

Граничные условия могут включать условия на границе между углем и воздухом, учитывающие влияние температуры и давления, а также климатические условия внутри выработок.

Для проведения расчета накопления метана в тупиковых выработках, используя предложенную математическую модель, мы должны задать начальные условия и параметры системы, такие как коэффициенты диффузии, пористость, концентрации метана и воздуха, а также параметры, касающиеся температуры.

Задание начальных данных: допустим, у нас есть следующие значения:

- 1) коэффициент диффузии метана в угле $D_0 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- 2) энергия активации $E_\alpha = 10000 \text{ Дж/моль}$;
- 3) температура $T = 298 \text{ К}$ или 25°C ;
- 4) пористость угля $\phi = 0,1$;
- 5) концентрация метана в угле $C_m(0) = 0,05 \text{ моль/м}^3$ (начальная);
- 6) концентрация метана в угле $C_a(0) = 0.00018 \text{ моль/м}^3$;
- 7) коэффициент скорости выброса метана $k_p = 1 \cdot 10^{-4}$;
- 8) уменьшающий коэффициент $D = 0,02 \frac{\text{моль}}{\text{м}^3}/\text{с}$ (например, потеря на диффузию);
- 9) условие затухания $\alpha = 0,01$ (например, скорость рассеяния).

Сначала находим значение диффузии

$$D_m = D_0 \cdot e^{-\frac{E_\alpha}{R \cdot T}} = 1 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-\frac{10000}{8,314 \cdot 298}} \approx 1,5 \cdot 10^{-7}, \text{ м}^2/\text{с}$$

У нас есть основное уравнение накопления (4), где $m(t)$ – это концентрация метана в выработках во времени. Подставим R

$$R = k_p \cdot \phi \cdot (C_m - C_a) = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1 \cdot (C_m - 0.00018).$$

Численный метод: поскольку у нас есть дифференциальное уравнение, его можно решить с использованием метода Эйлера. Для дискретизации времени возьмем шаг $\Delta t = 1 \text{ с}$ и рассчитываем

концентрацию метана C_m для каждого временного шага. Псевдокод для реализации приведен рис.1.

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Время от 0 до 61200 секунд (17 часов)
time = np.linspace(0, 61200, 100) # 100 точек от 0 до 61200 секунд

# Имитация изменения концентрации метана (синусоида с периодом 86400 секунд)
methane_concentration = 0.05 + 0.02 * np.sin(2 * np.pi * time / 86400)

# Создание графика
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.plot(time, methane_concentration, label='Концентрация метана')

# Названия осей
plt.xlabel('Время (с)')
plt.ylabel('Концентрация метана (моль/л)')

# Заголовок графика
plt.title('Изменение концентрации метана за 17 часов')

# Легенда
plt.legend()

# Сетка
plt.grid()

# Показать график
plt.show()
```

Рисунок 1 – Псевдокод для расчёта концентрации метана C_m для каждого временного шага

После выполнения цикла мы получим значение концентрации метана после 17 часов работы. Если, например, работы ведутся в течение $17 \cdot 3600 = 61\,200$ секунд, можно записывать результаты в массив для последующего графического изображения рис. 2.

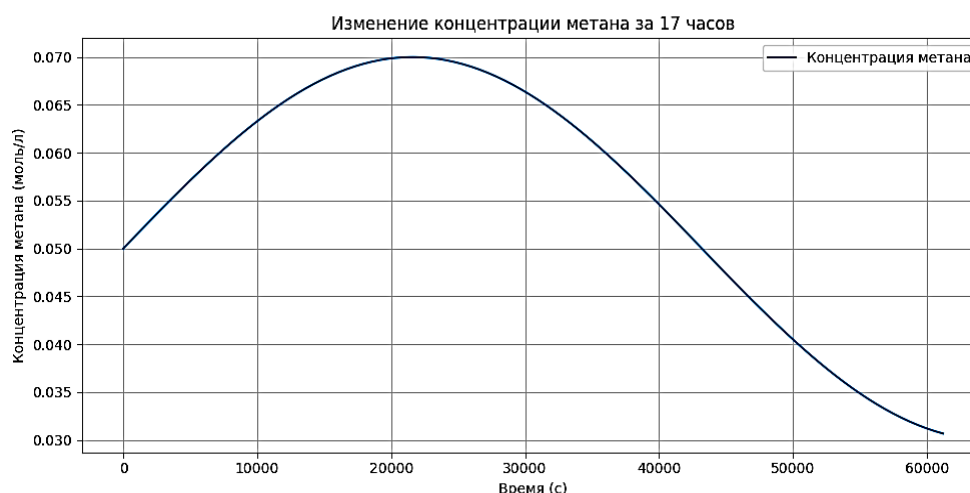


Рисунок 2 – Изменения концентрации метана во времени

Выводы: математические модели, разработанные в ходе исследования, опираются на ряд ключевых уравнений и параметров, описывающих динамику газовыделения, диффузии и потоков воздуха. Эти модели дают возможность проводить симуляции различных сценариев, такие как изменения температуры, механическое воздействие на угольные пласты и характеристики вентиляционных

систем. Основное внимание уделяется как статическим, так и динамическим аспектам газовыделения, что позволяет учитывать временные изменения в концентрации метана.

Научная новизна данной работы заключается в разработке интегрированных моделей, которые не только учитывают традиционные аспекты вентиляции и газодинамики, но и внедряют современные методы анализа данных и машинного обучения. Это позволяет значительно повысить точность предсказаний о концентрации метана и его поведении в подземных условиях.

Перспективы дальнейших исследований в этой области обширны. Они могут включать развитие более сложных алгоритмов для анализа больших данных, что позволит раскрыть скрытые закономерности в поведении метана. Также актуально изучение взаимодействия различных факторов, таких как температура, давление и влажность, на динамику газов в шахтном пространстве.

Таким образом, исследование, проведенное в данной работе, не только вносит значительный вклад в научное сообщество, но и имеет высокую практическую значимость. Оно закладывает основу для будущих разработок в области горного дела, что может способствовать формированию более безопасной и эффективной шахтной деятельности.

Перечень ссылок

1. Смирнов П.П., Ковалев А.А. Исследование накопления метана в тупиковых выработках угольных шахт. М.: Издательство «Уголь», 2022. 300 с.
2. Беляев И.Н., Васильев С.Ю. Влияние вентиляции на содержание метана в угольных шахтах. // Геология и минеральные ресурсы. 2023. Т. 25. № 4. С. 201-210.
3. Федотова М.В., Сеницын Д.Е. Оптимизация процессов управления метановой безопасностью в шахтах. // Угольная промышленность. 2022. Т. 34. № 2. С. 57-64.
4. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Проверка состояния вентиляционных систем на угольных шахтах. М.: Ростехнадзор, 2021. 150 с.
5. Онищенко Л.А., Галкина Н.М. Моделирование накопления метана в условиях закрытых выработок. // Технические науки. 2023. Т. 14. С. 85-92.
6. Рябов В.К. Метан в шахтах: причины и последствия накопления. М.: Издательство «Наука», 2022. 200 с.

© В.В. Захарова, К.А. Подвигин, Е.В. Подвигина

УДК 622.012: 658.5.012.7

ЭВОЛЮЦИЯ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ О ЛИКВИДАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

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

Аннотация. Статья посвящена анализу нормативно-правового регулирования процессов ликвидации угольных шахт в СССР и Российской Федерации. Рассматривается трансформация подходов – от централизованной советской системы, ориентированной преимущественно на технические параметры, к современному правовому механизму, включающему экологические и экономические аспекты.

Annotation. The article is devoted to the analysis of legal regulation of the processes of liquidation of coal mines in the USSR and the Russian Federation. It considers the transformation of approaches - from the centralised Soviet system, focused mainly on technical parameters, to the modern legal mechanism, including environmental and economic aspects.

Ключевые слова: ликвидация предприятий, охрана недр, экологическая безопасность, реструктуризация шахт, недропользование

Keywords: restructuring, mine closure dry conservation, wet conservation

Некогда бывшая основой экономической стабильности угольная промышленность Донбасса, сегодня переживает затяжной системный кризис. Ежегодно помимо объемов добычи и проведения горных выработок, сокращается количество действующих шахт, если в 2014 году на территории ДНР находилось 88 шахт, в 2019 году действующих шахт уже 18 [1], то по состоянию на 2024 год добычу угля осуществляют порядка 9 шахт. Остальные предприятия переданы в Главное управление реструктуризации шахт ДНР, которое обеспечивает работу предприятий в режиме водоотлива до их передачи инвесторам [2]. Однако даже передача предприятия не гарантирует их стабильную работу и снятие с повестки дня вопроса о его ликвидации [3].

Ликвидация угольных шахт – сложный процесс, требующий помимо технической, также и правовой проработки. В условиях сегодняшних реалий особую актуальность приобретает анализ законодательства Российской Федерации, регулирующего закрытие

шахт. Процесс ликвидации шахт влечёт за собой не только инженерные, но и правовые, экономические и социальные последствия. Правовое регулирование данных процессов в Российской Федерации прошло длительный путь трансформации – от централизованных нормативов советского периода до современной модели, ориентированной на ответственность недропользователя и многоуровневую систему согласований. Анализ источников правового регулирования позволяет проследить эту эволюцию и выявить ключевые проблемы текущей законодательной базы, особенно в свете интеграции ДНР, в правовое поле Российской Федерации.

Наиболее ранним рассматриваемым документом, регламентирующим ликвидацию шахт, является «Инструкция о порядке консервации и ликвидации горнодобывающих предприятий (в части обеспечения безопасности и полноты выемки полезных ископаемых)» государственного комитета по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при совете министров СССР от 1969 года. Согласно инструкции, решение о закрытии шахт либо об их консервации, а также продолжительность консервации принималось устанавливается решением вышестоящей организации (министерства, ведомства, исполкома Совета депутатов трудящихся и т. д.). Необходимость консервации обосновывалась: «данными, подтверждающими изменения горногеологических, гидрогеологических или технико-экономических условий, как например, изменением государственных кондиций на разрабатываемое полезное ископаемое, отсутствием потребителя на него и т. п.» [4].

Проект ликвидации должен включать мероприятия по демонтажу оборудования, изоляции подземных выработок, водоотливу и обеспечению безопасности прилегающих территорий. При ликвидации горнодобывающего предприятия земная поверхность должна быть приведена в состояние, пригодное для использования в народном хозяйстве.

Уже на этом этапе прослеживается зачаточная форма комплексного подхода к ликвидации, включающего элементы рекультивации. Однако экологическая составляющая в документе практически не представлена.

На следующем этапе развитие регулирования продолжается в «Инструкции о порядке ликвидации и консервации предприятий по добыче полезных ископаемых (в части обеспечения безопасности, рационального использования и охраны недр)» Утвержденных постановлением Гостехнадзора СССР от 1985 года. В этом документе ужесточилась процедура согласования ликвидации-консервации шахт,

а также в отличие от предыдущей инструкции регламентируется содержание проекта ликвидации и консервации предприятия. Особое внимание уделяется учету ликвидированных и находящихся на консервации предприятий по добыче.

Инструкции советского периода отражают технически ориентированный подход. Документы регламентировали пошаговый порядок ликвидационных мероприятий: от вывода оборудования и демонтажа подъемных установок до засыпки горных выработок, тампонажа стволов, восстановления поверхностного рельефа и водоотлива. Документ предусматривал составление проекта ликвидации, его согласование с профильными министерствами и ведомствами. Однако при всей технической конкретности инструкции фактически игнорировали вопросы экологических последствий и социальной ответственности. Процедура носила сугубо производственный характер, и все мероприятия рассматривались как завершение производственного цикла, а не как элемент системного природоохранного или правового механизма.

С переходом к рыночной экономике после распада СССР изменилась и концепция ликвидации угледобывающих предприятий. Согласно «Отраслевой инструкции о порядке ликвидации и консервации предприятий по добыче угля (сланца), утвержденной Министерством топлива и энергетики РФ в 1997 году, ссылаясь на Закон Российской Федерации «О недрах», ответственность за проведение ликвидации была возложена на недропользователя – юридическое лицо, владеющее лицензией на пользование недрами.

Основным документом, являющимся основанием для выполнения и финансирования всех видов работ и затрат по ликвидации и консервации предприятий является «Технико-экономическое обоснование ликвидации (консервации)» или проект, а также проектно-сметная документация. Разработанное проектной организацией ТЭО (проект) согласовывается с органами местного самоуправления, профсоюзами, службами занятости, территориальными органами Госгортехнадзора России, МПР России, Госкомэкологии России; проходит независимую государственную экспертизу и утверждается Минтопэнерго России. Отраслевая инструкция 1997 года значительно шире рассматривает вопросы экологической безопасности. Она регламентирует разработку технических решений и мероприятий по:

- ликвидации провалов, трещин, уступов, образовавшихся при ведении горных работ; ограждению опасных участков;
- тушению отвалов и бортов разрезов, терриконов, свалок, отвалов породы обогатительных фабрик и др.;

- приведению земной поверхности и водных объектов в состояние, пригодное для дальнейшего использования по назначению в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- обеспечению безопасности населения;
- охране атмосферного воздуха от загрязнения;
- охране поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения;
- охране земельных ресурсов;
- охране животного и растительного мира;
- предотвращению прорывов воды и газов в жилые, производственные и иные помещения;
- прогнозу возможных аварийных ситуаций (штатных и нештатных) с оценкой их отрицательного последствия на окружающую среду.

Дополнительную детализацию регулирования ликвидации шахт получило в «Инструкции о порядке ведения работ по ликвидации и консервации опасных производственных объектов, связанных с использованием недр» утвержденной постановлением Госгортехнадзора России в 1999 году. Этот документ расширяет требования к проектной документации, а также в нем впервые установлена ответственность за нарушения Закона Российской Федерации «О недрах», нарушениях утвержденных в установленном порядке стандартов (норм, правил) по безопасному ведению работ, связанных с использованием недр, по охране недр и окружающей природной среды, в том числе нарушениях, ведущих к загрязнению недр и приводящих месторождение полезных ископаемых в состояние, не пригодное для эксплуатации.

Инструкции разработанные и принятые после развала СССР ссылаются на закон РФ «О недрах» поэтому рассмотрим его.

Федеральный закон РФ «О недрах», в актуальной редакции от 8 августа 2024 года, в отличие от предыдущих документов, является актом высшей юридической силы, регулирующим весь спектр отношений, связанных с использованием недр, включая ликвидацию горных объектов. Закон требует от пользователя недр при прекращении деятельности составить проект ликвидации с обязательным прохождением государственной экологической экспертизы, согласованием с органами исполнительной власти, а также выполнением комплекса мероприятий по охране недр, восстановлению окружающей среды и защите интересов населения. Устанавливается также обязанность юридически зафиксировать факт завершения ликвидации с последующим снятием объекта с учета. Таким образом,

ликвидация рассматривается как финальная стадия недропользования, требующая строгого соблюдения правовых, экологических и социальных норм.

Таким образом анализ эволюции законодательства РФ в сфере ликвидации угольных шахт показывает переход от централизованной ответственности к модели индивидуального регулирования, где основным субъектом становится недропользователь. Законодательство стало значительно более экологически ориентированным и структурно сложным. Вместе с тем в условиях кризиса угольной отрасли на территории ДНР необходим особый подход, включающий сочетание частной ответственности и прямого участия государства, особенно при ликвидации, консервации и расконсервации, объектов, утративших инвестиционную привлекательность. В этом контексте требуется дальнейшее развитие нормативной базы, адаптированной под реалии интеграционных процессов и задачи устойчивого территориального развития.

Перечень ссылок

1 Кочура И. В. Управление развитием экономического потенциала угледобывающих предприятий в условиях стохастичности среды : дисс... доктора экономических наук : 08.00.05 / Кочура, И. В.; Донецкий национальный технический университет. — Донецк, 2021. — 397 с.

2. Игнатьева А. До прихода инвесторов. Часть шахт ДНР передадут управлению реструктуризации / Игнатьева А. [Электронный ресурс] // Neftegaz.ru : [сайт]. — URL: <https://neftegaz.ru/news/coal/830642-do-prikhoda-investorov-chast-shakht-dnr-peredadut-upravleniyu-restrukturizatsii/> (дата обращения: 03.05.2025).

3. Костринский Г. Инвесторы вернут угольные шахты властям новых регионов для их ликвидации Кто и как будет заниматься закрытием проектов / Костринский Г. [Электронный ресурс] // rbc : [сайт]. — URL: <https://www.rbc.ru/business/21/04/2025/68027c749a79479cb47ad9cc> (дата обращения: 03.05.2025).

4. Инструкция о порядке консервации и ликвидации горнодобывающих предприятий (в части обеспечения безопасности и полноты выемки полезных ископаемых) от 30.08.1968 г. – М.: «Недра», 1969. – 16 с.

УДК 622.864:621.86.06

**КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИЧИН НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ
И ЕЕ АПРОБАЦИЯ НА ПРИМЕРЕ ТРАВМАТИЗМА ПРИ
ВЫПОЛНЕНИИ СТРОПАЛЬНЫХ РАБОТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ
УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

В.В. ЗУШИНСКАЯ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ГОРНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ»
(ГБУ «МАКНИИ»),
г. Макеевка, ДНР

***Аннотация.** МАКНИИ осуществляет разработку инструкций по охране труда для работников угольной промышленности. Для разработки требований в эти инструкции осуществляется анализ актов расследования происшедших несчастных случаев. Разработана классификация причин несчастных случаев и проведена ее апробация на примере травматизма при выполнении стропальных работ.*

***Annotation.** MAKNI performs the development of labour protection regulations for the workers of mining industry. For the purpose of development of requirements for these regulations the analysis is applied of investigation reports of occurred accidents. The classification of the accident causes has been developed; its testing exemplified by injuries during slinging operations has been carried out.*

***Ключевые слова:** несчастный случай, классификация, причины, стропальные работы, травматизм, анализ.*

***Keywords:** accident, classification, causes, slinging work, injury, analysis.*

Основным документом, регламентирующим требования по охране труда для рабочего, является инструкция по охране труда (ОТ). В настоящее время МАКНИИ осуществляет разработку требований по охране труда при выполнении стропальных работ для использования в ГУП ДНР «Главное управление реструктуризации шахт» (ГУП ДНР «ГУРШ») при разработке соответствующей инструкции по ОТ. Для разработки указанных требований проводится анализ актов расследования несчастных случаев (НС), происшедших при стропальных работах. При выполнении анализа травматизма необходимо использовать классификацию причин НС.

В соответствии с Классификатором несчастных случаев на производстве (Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 20.04.2022 года №223н) [1], НС классифицируются по видам и типам несчастных случаев; причинам возникновения; тяжести; времени происшествия; классу условий труда; стажу пострадавшего и т.д.

Известна классификация причин травматизма польского автора Л. Петшака [2]:

- организационные;
- технические;
- человеческие.

В работе В.А. Ачина [3] приведена следующая классификация причин НС:

- технические;
- организационные.

Анализ указанных работ показывает, что существующие классификации не в полной мере соответствуют выполняемым МАКНИИ работам по анализу травматизма при разработке инструкций по ОТ.

Предлагается следующая классификация причин НС (рисунок 1).

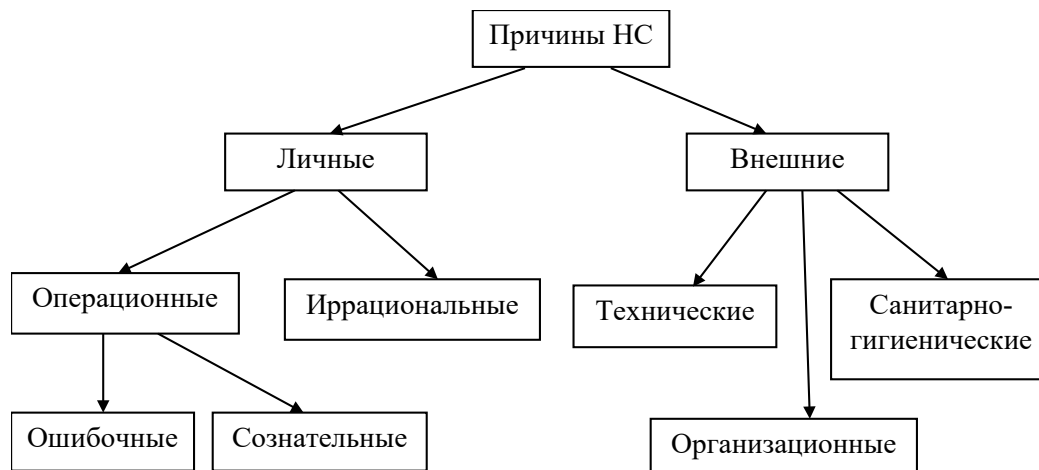


Рис. 1. – Классификация причин НС.

В качестве примера приведем анализ причин следующего НС. После подъема грузоподъемным краном монтируемой металлической балки, строповку которой по указанию потерпевшего произвел другой стропальщик, в результате недостаточной обтяжки стропом балки при ее строповке и наличии на балке наледи произошло ее скольжение, что послужило причиной повреждения острыми кромками балки лент

стропа с последующим его разрывом. В последующем произошло падение указанной балки и травмирование потерпевшего, осуществлявшего совместно с другим монтажником работы по установке монтируемой балки в проектное положение. Причинами несчастного случая являются нарушения потерпевшим, а также стропальщиком, который произвел строповку балки, и машинистом грузоподъемного устройства требований технологии безопасного производства работ, а также инструкции по ОТ (рисунок 2).

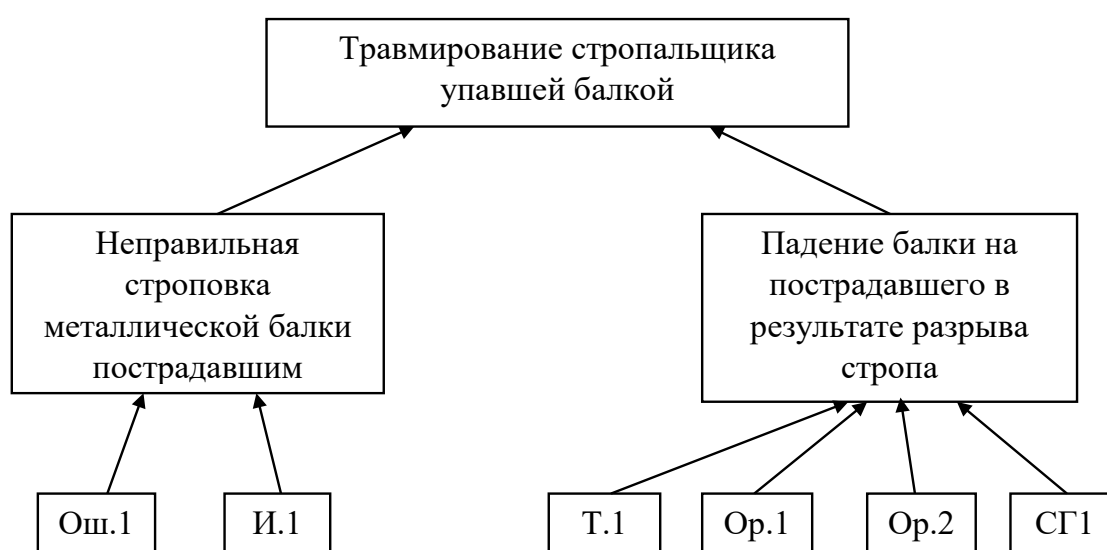


Рис. 2. – Пример анализа причин НС с помощью предложенной классификации:

Ош.1 – ошибочная причина; И 1 – иррациональная; T.1 – техническая; Ор. 1, Ор.2 – организационные; СГ1 – санитарно-гигиеническая.

Проведенный анализ позволил сформулировать следующие нормативные требования в «Инструкцию по охране труда при выполнении стропальных работ»:

- к выполнению стропальных работ допускаются лица, прошедшие обучение и имеющие соответствующее удостоверение;
- при производстве стропальных работ запрещается выполнять работы без присутствия лица, ответственного за безопасное производство работ с применением грузоподъемного устройства;
- в зимний период грузы, предназначенные для перемещения, должны защищаться от смерзания (обледенения).

Вывод. Разработана классификация причин несчастных случаев. Проведен анализ конкретного случая, который позволил сформулировать нормативные требования в «Инструкцию по охране труда при выполнении стропальных работ».

Перечень ссылок

1. Классификатор несчастных случаев на производстве: приказ Минтруда №223н – Текст электронный // <https://www.kdelo.ru/art/386242-klassifikator-neschastnyh-sluchaev-na-proizvodstve-prikaz-mintruda-223n?id=386242&refreshProfile=Y&tail=klassifikator-neschastnyh-sluchaev-na-proizvodstve-prikaz-mintruda-223n&ysclid=m8cr20iwhh220315058> (дата обращения 05.03.2025).
2. Pietrzak L. Analiza wypadków przy pracy dla potrzeb prewencji – Warszawa, 2007. – 105с.
3. Ачин В.А. Основы безопасности труда в строительстве. – Л.: Стройиздат, 1976. – 185с.

УДК 331.45

**ОМАГНИЧИВАНИЕ ВОДНЫХ СРЕД КАК СПОСОБ
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ НА
ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

И.С. Ильяшенко

ФГБОУ ВО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II»,
г. Санкт-Петербург, Россия

***Аннотация.** В работе представлено исследование вопросов повышения эффективности пылеподавления за счет омагничивания воды и водных растворов ПАВ. Результаты исследования показывают улучшение смачивающей способности жидкостей и, как следствие, более эффективное подавление промышленной пыли.*

***Annotation.** This paper investigates the optimization of dust suppression efficiency through the magnetization of water-based solutions, including aqueous surfactant formulations. The findings demonstrate an enhancement in the wetting properties of the liquids, resulting in more effective industrial dust suppression.*

***Ключевые слова:** аэрозоль, промышленная пыль, омагничивание воды, пылеподавление, охрана труда, условия труда.*

***Keywords:** aerosol, industrial dust, water magnetization, dust suppression, occupational safety, working conditions.*

Горная промышленность остается одним из наиболее вредных и опасных секторов экономической деятельности человека среди всех прочих. Множество вредных и опасных производственных факторов представляет собой комплексную систему производственной среды, негативно влияющую на состояние и здоровье работников [1]. При этом угольная промышленность характеризуется интенсивным пылеобразованием на всех этапах ведения работ и реализации конечного продукта. Интенсивный пылевынос приводит к ускоренному износу оборудования, особенно трущихся и движущихся деталей, к ухудшению экологической обстановки в районе влияния, а также к значительному ухудшению условий труда работников. Среди наиболее распространенных методов пылеподавления выделяют гидроорошение источников пыления, в связи с доступностью и простотой организации этого способа борьбы с пылью. Другим распространенным способом пылеподавления остается применение поверхностно-активных веществ (ПАВ) в оросительных системах для улучшения смачивающей способности раствора. Применение ПАВ при этом связывают с некоторыми экологическими рисками, порчей

оборудования и снижением безопасности работников вследствие использования различных химических реагентов. Однако по причинам широкого многообразия влияющих факторов, условий применения и свойств пылящего материала зачастую эффективность этих методов достаточно низка.

В связи с возникающей необходимостью повышения эффективности применяемых способов пылеподавления научное сообщество все чаще обращается к углубленному изучению свойств пылящего материала и оросительных составов. В результате внимание ученых в последние годы посвящено исследованию методов магнитной обработки воды и водных составов ПАВ, которые позволяют изменить их физико-химические свойства и повысить эффективность подавления промышленных аэрозолей.

Согласно ряду исследований, намагничивание воды способствует изменению некоторых ее структурных и динамических характеристик. Теоретически, это может привести к реорганизации характера взаимодействия капель жидкости и пылевых частиц. Исследования показывают, что магнитная обработка жидкости приводит к снижению ее поверхностного натяжения, что облегчает смачивание угля и угольной пыли [1]. Другие исследования указывают на реорганизацию кластерной структуры воды, увеличению количества и времени существования таких водных ассоциатов. Это приводит к улучшению адсорбирующей, захватывающей способности воды к пылевым частицам [2]. В исследовании [3] отмечается, что молекула воды, вследствие наличия пары неспаренных электронов кислорода, вынуждена образовывать водородные связи с другими молекулами, при этом образуя структуры различного вида: это и открытые цепные формирования, и закольцованные закрытые кластеры. Под воздействием внешнего магнитного поля в закрытых кольцевых агломератах появляется «молекулярный электрический ток», который становится «маленьким магнитом» в веществе. В результате кольца из молекул реагируют на внешнее магнитное поле и разворачиваются по одному направлению с линиями этого поля, тем самым вода намагничивается [3].

Для изучения данного вопроса и оценки эффективности пылеподавления омагниченной водой была разработана физическая модель пылящей поверхности с применением эквивалентных материалов (рис. 1). В модели параллельно установлены форсуночные оросительные линии с факелом распыла до 70 град.

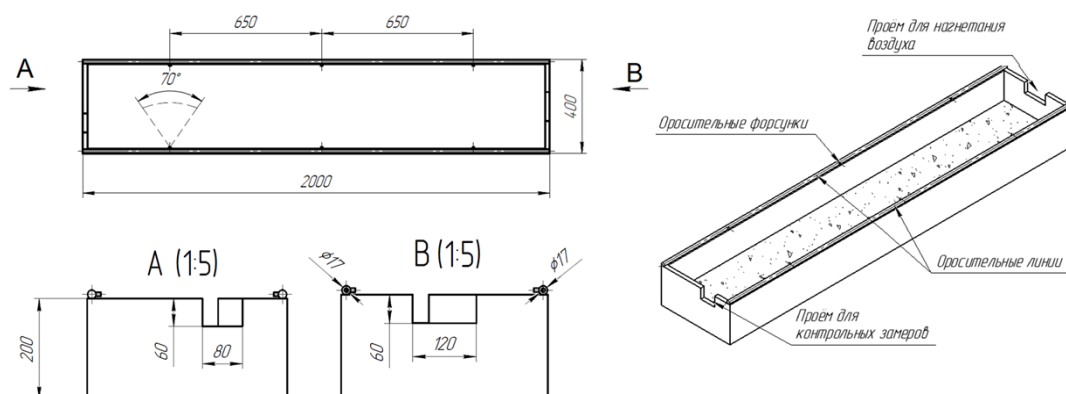


Рисунок 1 – Модель для оценки эффективности пылеподавления (материал авторов)

Чтобы исследовать эффективность пылеподавления в полуизолированную модель закладывалась навеска угольной пыли величиной 20 г и приводилась во взвешенное состояние. Далее с помощью счетчика пылевых частиц и пылемера СЕМ DT-9880 осуществлялось измерение концентрации пыли и определение дисперсного состава взвешенного аэрозоля в воздухе внутри модели до и после пролива. Измерения производились раз в 10 минут для определения динамики изменения пылевой обстановки внутри модели (табл.1).

Таблица 1 – Пример результатов измерения запыленности воздуха в модели (материал авторов)

№ пробы	Масс. конц. пыли, мг/м ³ PM10	Количество частиц в пробе по их размеру, мкм					
		0,3	0,5	1,0	2,5	5,0	10,0
1 (сухое)	15,2	185432	93342	47085	12155	3473	1353
2 (вода)	3,2	145632	75892	38380	6021	832	492
3 (омагн. вода)	0,8	138354	70104	33270	3932	445	248

Результаты показали, что при обработке воды постоянным магнитным полем наблюдается улучшение эффекта пылеподавления в системе, в том числе за счет снижения концентрации респираторной фракции пыли до 5 микрон. При этом концентрация пыли при орошении обычной водой начинает повышаться через примерно 80-90 минут после обработки, тогда как эффект увлажнения омагниченной водой сохраняется и через 120 минут после орошения (рис. 2).

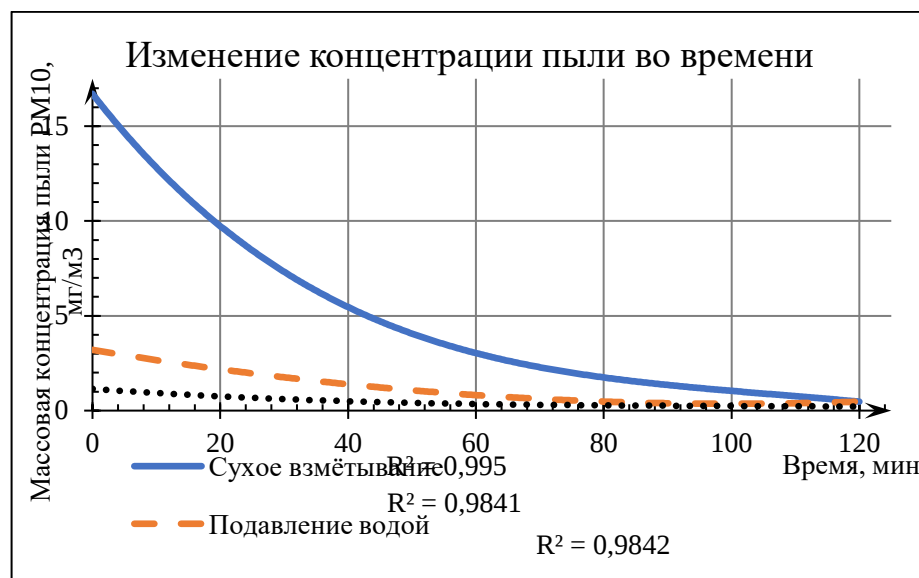


Рисунок 2 – Зависимость концентрации пыли от времени в лабораторной модели (материал авторов)

Современные исследования подтверждают, что магнитная обработка водных сред улучшает смачивающую способность, повышает эффективность осаждения пыли и снижает расход воды. Дальнейшее исследование омагничивания водных сред целесообразно и обосновано положительными практическими результатами лабораторных исследований. Важными вопросами при этом остаются подбор оптимальных параметров омагничивания (индукция поля, время экспозиции), устойчивость намагниченного состояния жидкостей после выхода из магнитного поля, а также конструкционные решения для рационального расположения блока омагничивания в шахтных условиях.

Перечень ссылок

1. Коршунов Г.И., Красноухова Д.Ю., Туманов М.В. Методические подходы к обоснованию комплексной оценки надежности персонала минерально-сырьевого комплекса // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. Т. 13, № 2(66). С. 204-209. EDN VYKHXR.
2. Qun Zh., Botao Q., Fei W., Hetang W. Experimental investigation on the performance of a novel magnetized apparatus used to improve the dust suppression ability of surfactant-magnetized water // Powder Technology. – 2019. V. 354, P. 149-157. DOI: 10.1016/j.powtec.2019.05.081.
3. Usanov A.D., Ulyanov S.S., Ilyukhina N.S., Usanov D.A. Monitoring of changes in cluster structures in water under AC magnetic field // Optics and Spectroscopy. – 2016. V. 120, P. 82–85. DOI: 10.1134/S0030400X16010239.
4. Dobránszki J. From mystery to reality: Magnetized water to tackle the challenges of climate change and for cleaner agricultural production // Journal of Cleaner Production. – 2023. V. 425, 139077. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.139077.

УДК 622.865:622.42

АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ПРИ ЭКЗОГЕННЫХ ПОЖАРАХ

А.Л. Кавера¹, А.В. Агарков^{1,2}, А.В. Мавроди²,
В.Ф. Формос¹, А.В. Ивахненко², Н.С. Захаров¹
¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

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

Аннотация. Разработаны рекомендации по составлению отдельных позиций планов ликвидации аварий в горных выработках, проветриваемых за счет общешахтной депрессии и не имеющих запасного выхода, при экзогенных пожарах в угольных шахтах.

Abstract. Recommendations have been developed for drawing up individual items of plans for the elimination of accidents in mine workings ventilated by means of general mine depression and having no emergency exit, in case of exogenous fires in coal mines.

Ключевые слова: угольная шахта; горная выработка; аварийно-спасательные работы; запасной выход; камера спасательная; безопасный труд.

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

В настоящее время на большинстве угольных предприятий Донбасса отсутствует возможность для поддержания и организации обустройства запасных выходов из подземных горных выработок. Как правило, в данных горных 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 50 % 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.

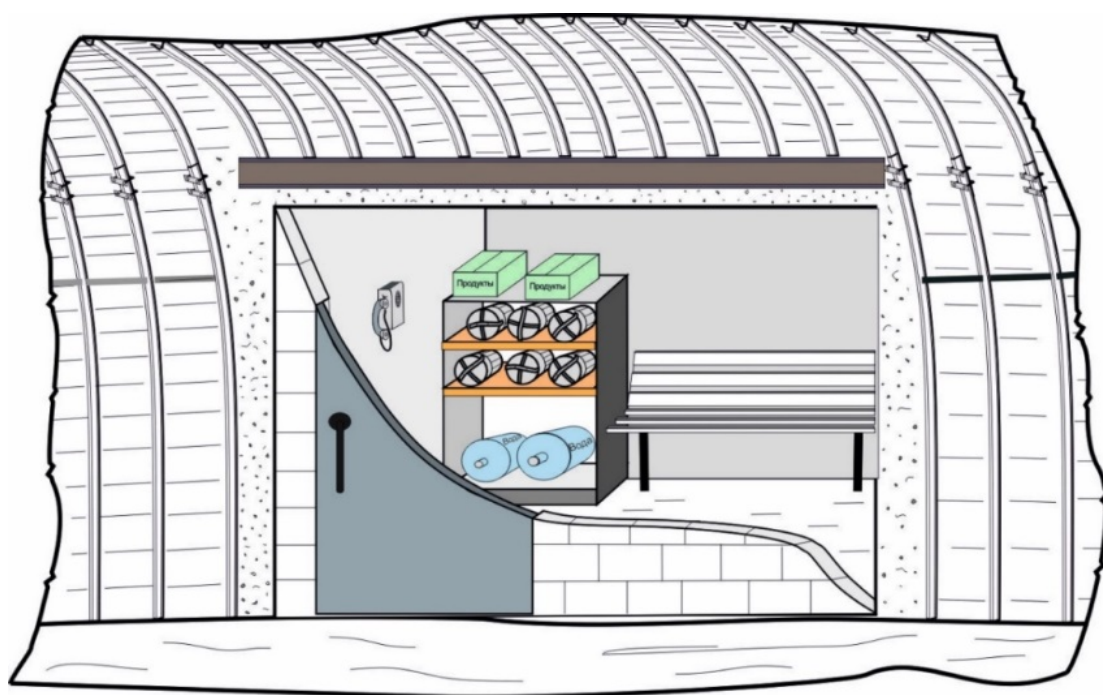


Рис. 2. Стационарная спасательная камера (ниша)

Выводы. Таким образом, предложены рекомендации по повышению безопасности работников при экзогенных пожарах в выработках шахт, проветриваемых за счет общешахтной депрессии и не имеющих запасного выхода, до прибытия горноспасателей. Также разработаны требования к составлению отдельных позиций ПЛА для ликвидируемых шахт или работающих в режиме сухой консервации.

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.

У Д К 622.457.2/.3

**ПРОВЕТРИВАНИЕ МАЛЫХ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ
ПРЕДПРИЯТИЙ ДОНБАССА ПРИ ВЕДЕНИИ
ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

А.Л. Кавера¹, А.В. Агарков^{1,2}, Е.Б. Николаев¹,
Е.В. Курбацкий¹, В.В. Захарова¹, Н.С. Заремба¹
¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР
² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. Выполнен анализ травматизма на малых угледобывающих предприятиях Донбасса. Разработаны рекомендации по выбору способов и технических средств проветривания малых угледобывающих предприятий при ведении горноспасательных работ подразделениями ФГКУ «ВГСЧ ДНР».

Abstract. An analysis of injuries at small coal mining enterprises in Donbass has been carried out. Recommendations have been developed for the selection of methods and technical means for ventilation of small coal mining enterprises during mine rescue operations by units of the FGKU "VGSh DPR".

Ключевые слова: малые угледобывающие предприятия, проветривание шахт, горноспасательные работы.

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

Безопасность ведения горноспасательных работ на малых угледобывающих предприятиях (копанках-артелях) связана с их широким распространением, 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 используемых 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 малом угледобывающем предприятии травмировано 37, из них погибло 24 человека, в том числе: при взрывах метана – девять травмировано и три смертельно, обрушения – пять смертельно, от асфиксии – один травмирован и девять 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]. Проанализированы основные технические параметры (диаметр рабочего колеса, скорость его вращения, подача воздуха и создаваемое давление, мощность двигателя и его КПД, габариты и масса) электрических и пневматических ВМП (таблицы 1 и 2).

Таблица 1 – Технические 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, м ³ /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, м ³ /мин	1,2	3,0	5,0	8,0	20,0
Масса, кг	10	50	70	175	277

Таблица 2 – Технические параметры электрических ВМП

Параметр	Значение параметра для ВМП				
	СВМ-4М	ВМ-200	ВМ-4М	ВМ-5М	ВМ-6М
Рабочее колесо: – диаметр, мм – частота вращения, мин ⁻¹	400 2880	550 2850	400 2900	500 2940	600 2950
Подача, м ³ /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
Максимальный КПД	0,59	0,57	0,72	0,75	0,76
Габариты, мм: – длина – ширина – высота	510 555 565	805 635 704	740 550 560	935 650 670	1050 730 750
Масса, кг	88	200	140	250	350

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

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

где $r_{\text{тр}}$ – удельное аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода, даПа·с²/м⁷;

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

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

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

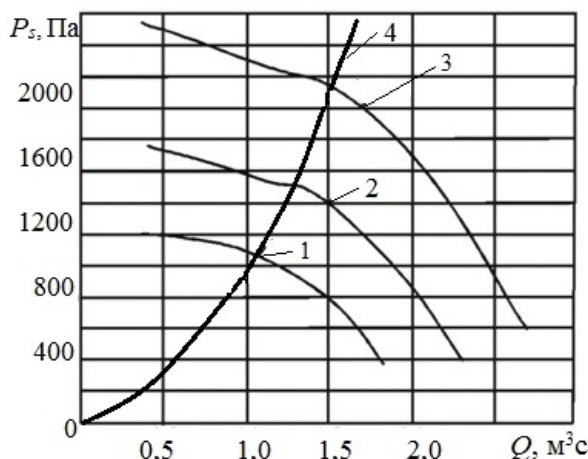


Рис. 1. Аэродинамическая характеристика ВМП-4 при давлении сжатого воздуха 0,5 МПа с вентиляционным трубопроводом диаметром 400 мм: Q – подача ВМП; P_s – статическое давление; 1, 2, 3 – аэродинамические характеристики ВМП-4 при работе одного, двух и трех сопел; 4 – аэродинамическая характеристика трубопровода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

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

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

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

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

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

$Q_{\text{з.п}}$ – 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.

Выводы. 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.

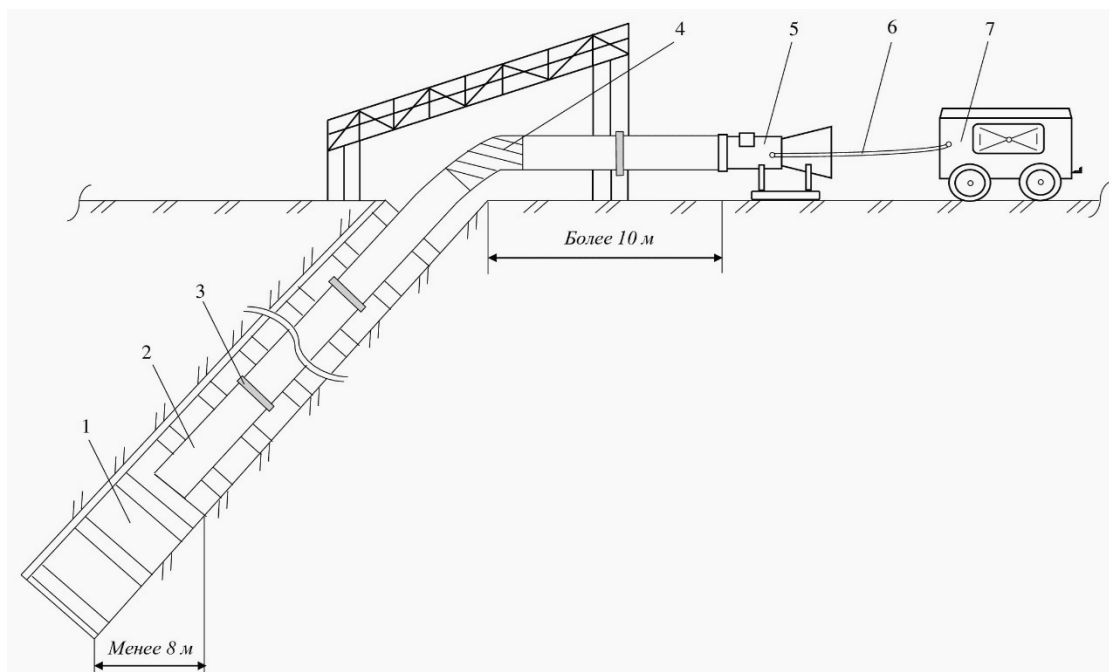


Рис. 2. Схема компоновки технических средств проветривания малых угледобывающих предприятий при ведении горноспасательных работ: 1 – горная выработка; 2 – вентиляционный трубопровод; 3 – соединение отрезков вентиляционного трубопровода; 4 – металлическое соединительное колено; 5 – пневматический или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

Таким образом, предложен системный подход к проветриванию малых угледобывающих предприятий и выбору мобильных средств вентиляции при ведении горноспасательных работ подразделениями ФГКУ «ВГСЧ».

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: 01.05.2025).

УДК [622.411.33:001.891.572]:622.454

О ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ЛИКВИДАЦИИ СЛОЕВЫХ СКОПЛЕНИЙ МЕТАНА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНБАССА

А.Л. Кавера¹, А.В. Агарков^{1,2}, И.И. Москвина¹,
В.В. Захарова¹, О.К. Мороз¹, В.Е. Трегубенко¹
¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

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

Аннотация. Проведены аналитические и теоретические исследования слоевого загазования метаном горных выработок и предложены методы ликвидации слоевых скоплений газа в шахтах. Установлены зависимости процессов слоевого загазования, которые учитывают геометрические размеры выработки, условия ее проветривания, дебит и кинематические характеристики метана.

Abstract. Analytical and theoretical studies of layered methane gasification of mine workings have been conducted and methods for eliminating layered gas accumulations in mines have been proposed. Dependencies of layered gasification processes have been established that take into account the geometric dimensions of the workings, the conditions of its ventilation, the flow rate and the kinematic characteristics of methane.

Ключевые слова: шахта; выработка; слоевые скопления метана; безопасность труда.

Keywords: mine; mine; workings; layered methane accumulations; occupational safety.

Повышение эффективности функционирования угольной промышленности – одно из ключевых 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). Чаше 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 способов 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;
 $q_{сл}$ – 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.

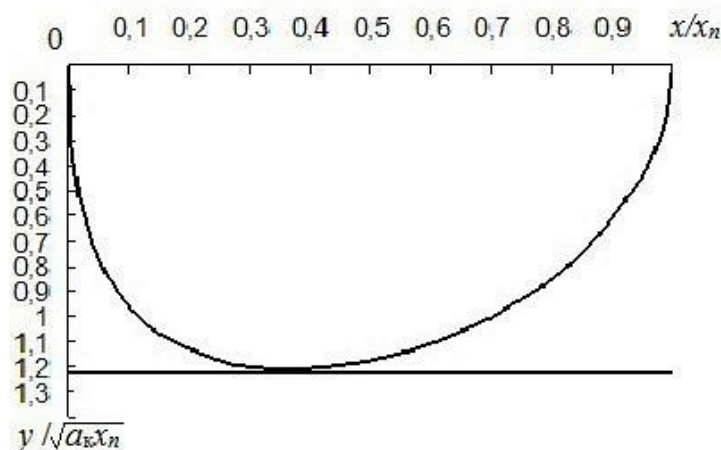


Рис. 1. Изолиния концентрации метана в слоевом скоплении выработки

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 способы увеличения расхода воздуха путем:

– использования нагнетательных взвихрывающих воздушных трубопроводов (рис. 2), работающих от вентилятора местного проветривания (далее – ВМП) или на сжатом воздухе пневмосети;

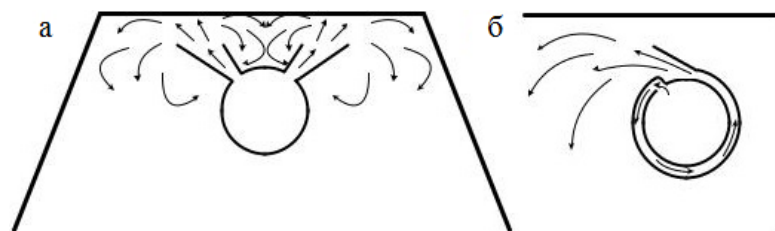


Рис. 2. Взвихрывающие воздушные трубопроводы:

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).

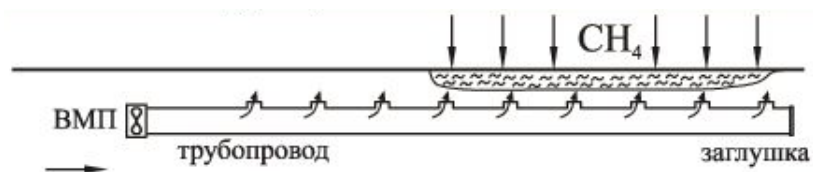


Рис. 3. Схема проветривания с помощью пневматических ВМП и перфорированными короткими трубопроводами

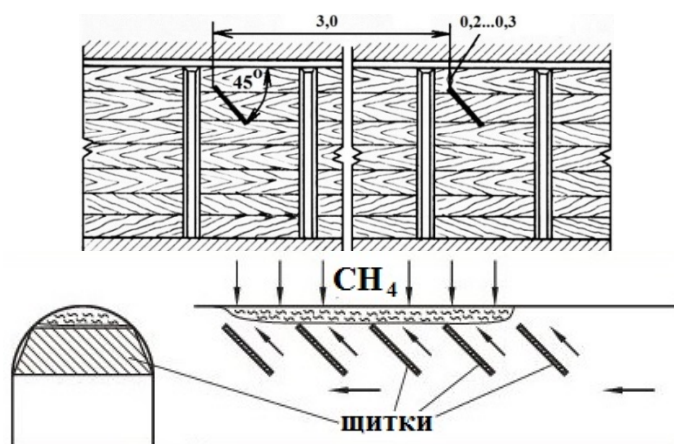


Рис. 4. Схемы расположения наклонных щитков в горной выработке



Рис. 5. Схема монтажа перемычки в нижней части выработки

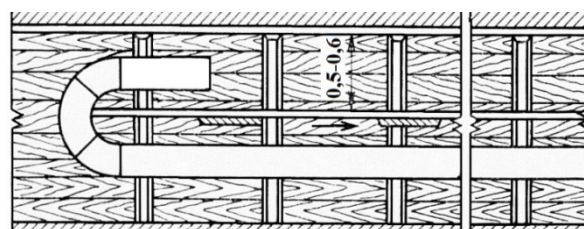


Рис. 6. Схема применения продольной перегородки для ликвидации слоевого скопления метана

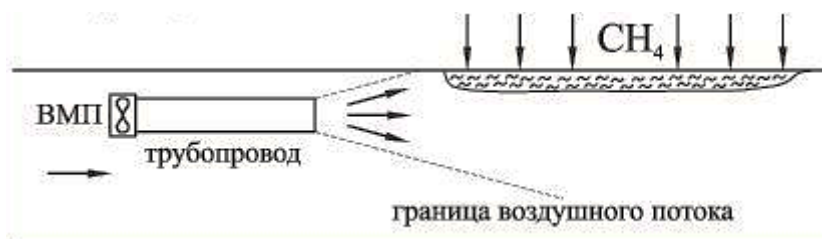


Рис. 7. ВМП с коротким трубопроводом

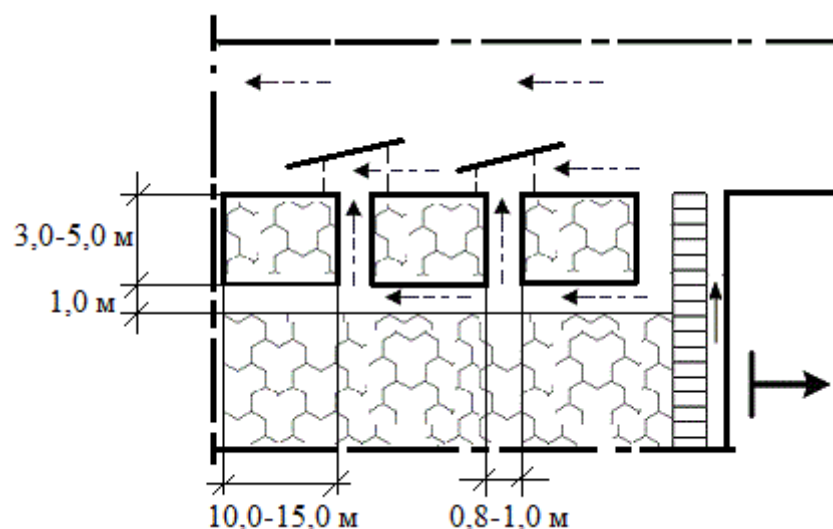


Рис. 8. Схема продольных и поперечных каналов в буттовых полосах под вентиляционным штреком с камерами смешивания на штреке

Выводы. 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 622.457.36:622.831.322

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕТРИВАНИЮ АВАРИЙНЫХ
УЧАСТКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ПОСЛЕ ВНЕЗАПНЫХ
ВЫБРОСОВ УГЛЯ, ПОРОДЫ И ГАЗА ПРИ ВЕДЕНИИ
ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

А.Л. Кавера¹, А.В. Агарков^{1,2}, И.И. Москвина¹,
В.В. Захарова¹, В.В. Яйло¹, Е.И. Горбачева¹
¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР
² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. Предложены рекомендации по проветриванию аварийных участков угольных шахт после внезапных выбросов угля, породы и газа. Определены способы и средства увеличения расхода воздуха для разгазирования выработок. Обоснован выбор вариантов проветривания аварийных участков исходя из расчета вентиляционной сети шахты с использованием компьютерной модели.

Annotation. Recommendations are proposed for ventilation of emergency sections of coal mines after sudden outbursts of coal, rock and gas. Methods and means of increasing air flow for degassing of workings are determined. The choice of options for ventilation of emergency sections is substantiated based on the calculation of the mine ventilation network using a computer model.

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

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

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 2024 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 газозвушной 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.

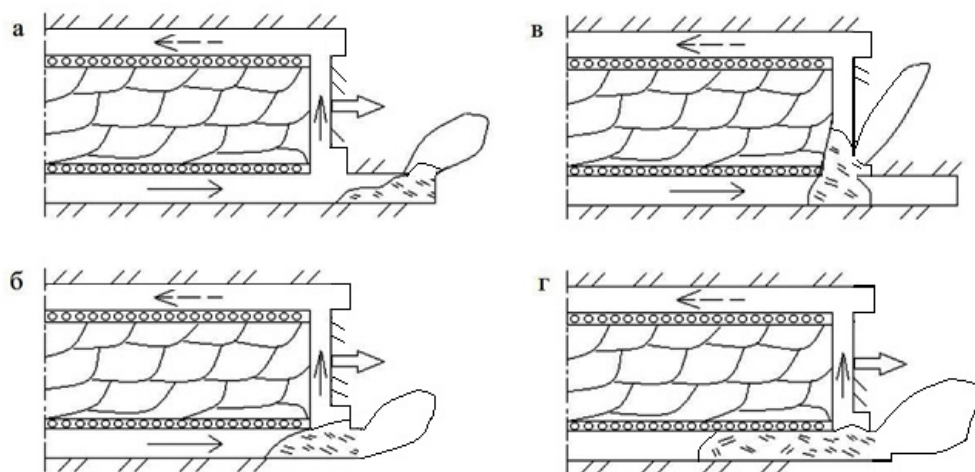


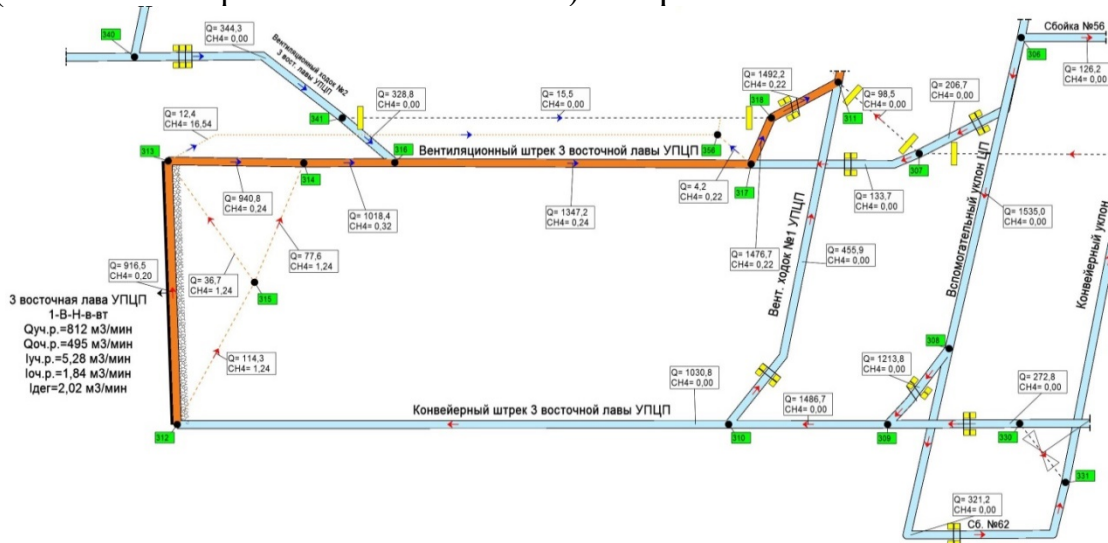
Рис. 1. Примеры сплошной системы разработки с различной степенью заполнения продуктами выброса поперечного сечения выработок после внезапного выброса угля, породы и газа:

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

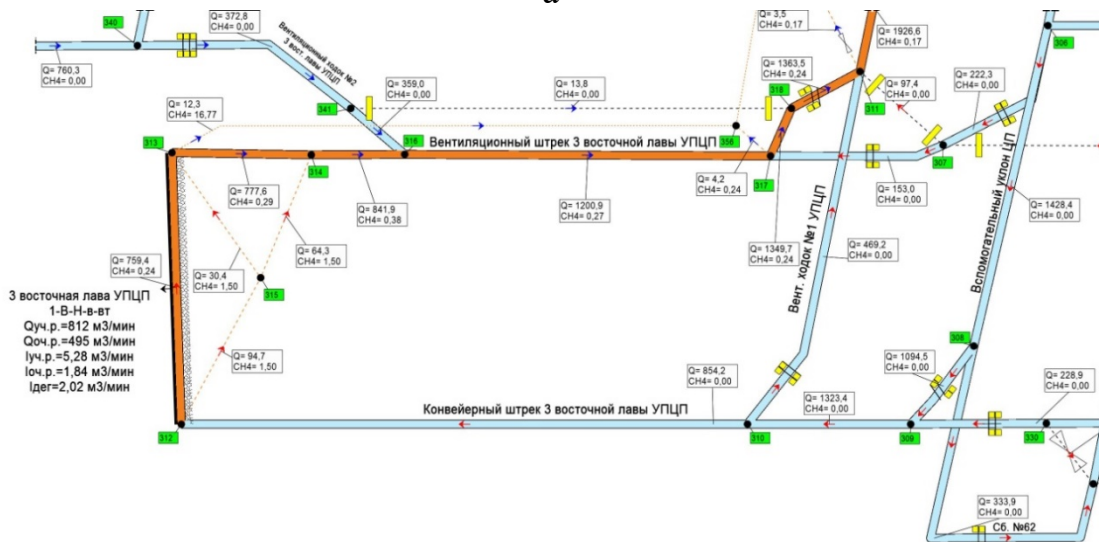
Выбор вариантов проветривания аварийных участков на современном этапе следует осуществлять исходя из расчета вентиляционной сети с использованием компьютерных моделей. В качестве примера на основе модели вентиляционной сети Филиала «Шахта имени А.А. Скочинского» ГУП ДНР «ДУЭК» выполнен расчет воздухо- 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.



а



б

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.

Выводы. Таким образом, выполнен анализ состояния и особенностей проветривания шахт, разрабатывающих выбросоопасные пласты, а также проведен анализ факторов, влияющих на проветривание горных выработок после внезапных выбросов. Определены способы и средства увеличения расхода воздуха для разгазирования и проветривания выработок аварийного участка.

Раскрыта особенность выбора вариантов проветривания аварийных участков исходя из расчета шахтной вентиляционной сети с использованием компьютерной модели.

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:[533.65.013.622:622.41]

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВЕДЕНИИ РАЗВЕДКИ АВАРИЙНЫХ УЧАСТКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

А.Л. Кавера¹, А.В. Агарков^{1,2}, Е.В. Курбацкий¹,
Д.Р. Тишин¹, С.Р. Тишина¹, А.В. Тасынич¹

¹ ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

² ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Представлены результаты аналитических и экспериментальных исследований по использованию беспилотных летательных аппаратов в горных выработках угольных шахт при ведении разведки аварийных участков дистанционным способом.

Annotation. The article presents the results of analytical and experimental studies on the use of unmanned aerial vehicles in coal mine workings during remote reconnaissance of emergency areas.

Ключевые слова: угольная шахта; горноспасательная служба; беспилотные летательные аппараты; дистанционный способ разведки аварийного участка.

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

Основными направлениями развития горноспасательной службы, а также приоритетными программами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ научных и проектных организаций в сфере горноспасательного дела являются разработка и внедрение 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 горных предприятиях [1].

Горная промышленность является одной из ключевых отраслей народного хозяйства [2], однако при постоянном повышении уровня и мер промышленной безопасности и противопожарной защиты в шахтах аварии и аварийные ситуации имеют частый характер.

Одними из наиболее распространенных видов аварий в шахтах являются пожары и взрывы, при ликвидации которых возникают условия, опасные для жизни шахтеров и горноспасателей. При возникновении таких аварий в шахтах немедленная разведка горных выработок и определение состава шахтной среды является одним из решающих факторов влияния на выбор мероприятий по дальнейшему ведению аварийно-спасательных работ.

Разведка горных выработок аварийного участка шахты осуществляется для обнаружения и спасения людей, застигнутых аварией, получения информации, необходимой для выбора основных направлений ликвидации аварии, а также ее последствий, оценки эффективности действий по ликвидации аварии и внесения необходимых корректировок. 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;
- шахтная среда (газовая обстановка) на аварийном участке, состояние выработок и их проветривание.

При выполнении разведки горных выработок аварийного участка шахты, контроле состава шахтной среды (газовой обстановки), возведении изолирующих сооружений и проведении других видов горноспасательных работ известны случаи травмирования и гибели горноспасателей. Примерами тому могут послужить аварии на шахтах России: «Распадская» (2010 год), «Северная» (2016 год), «им. А.Ф. Засядько» (2007 и 2015 годы) и др. Одним из ярчайших примеров травматизма и гибели, как горняков, так и горноспасателей, может служить серия взрывов на шахте «Северная» ОАО «Воркутауголь» в 2016 году.

На основании вышеизложенного актуальным направлением является проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью разработки способов и технических средств разведки аварийных участков в условиях шахт дистанционным способом.

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.

Исследованиям возможности разработки БПЛА для подземных условий посвящены научные труды П.П. Ананьева, М.Л. Кима, А.С. Концегова, В.Н. Костеренко, Р.В. Мещерякова, Л.Д. Певзнера, А.К. Платонова, Д.С. Полуэктова, А.С. Родичева и других. Рассмотрев диссертационную работу М.Л. Кима [3], 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.

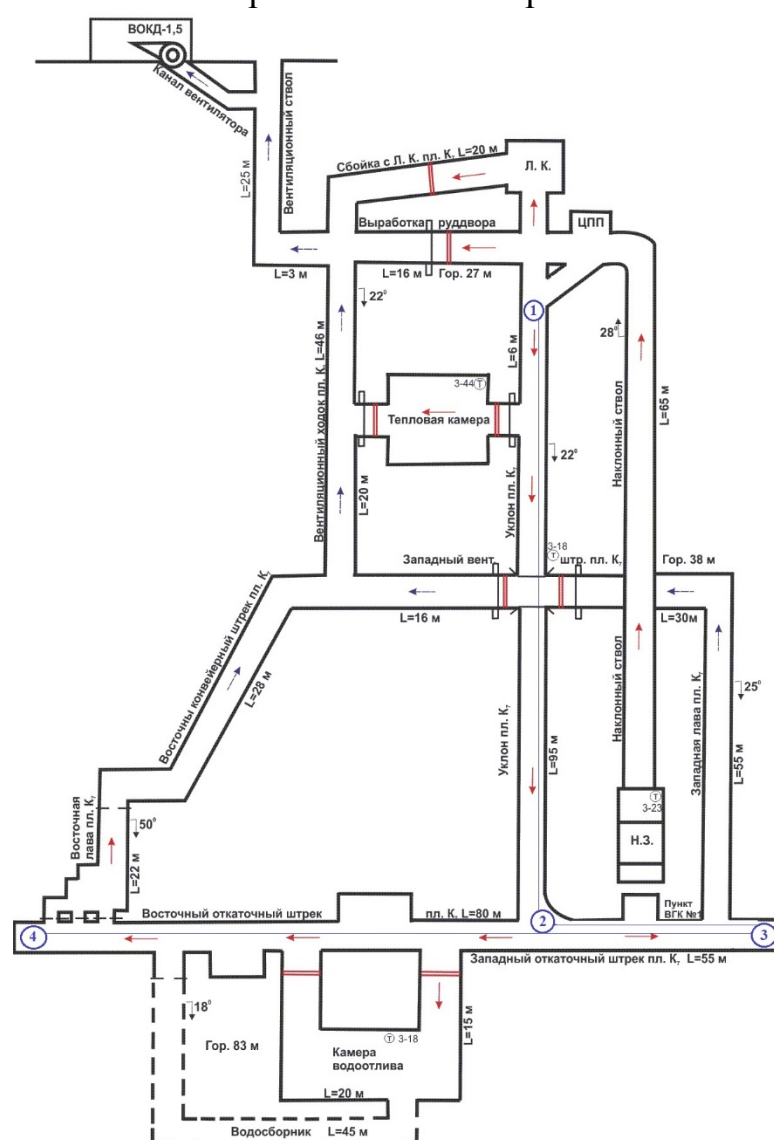


Рис. 1. Маршрут испытаний БПЛА в условиях учебно-тренировочного полигона подземного типа: 1, 2, 3, 4 – позиции маршрута
Таким образом, первичная оценка эксплуатационной способности

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 на аварийном участке на наличие взрывоопасных концентраций, определять место нахождения пострадавших горняков. При этом БПЛА должен иметь особую конструкцию, исключающую возникновение искр от электрооборудования. 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 (пример представлен на рис. 2).



Рис. 2. Пример БПЛА в защитном корпусе

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.

Также актуальным направлением дальнейших исследований является апробация в условиях подземных горных выработок БПЛА, которым управляют через тонкий оптоволоконный кабель (рис. 3), а не по радиоканалам. Оптоволокну необходимо использовать, чтобы преодолеть «уязвимость» БПЛА на радиоуправлении в условиях угольных шахт.

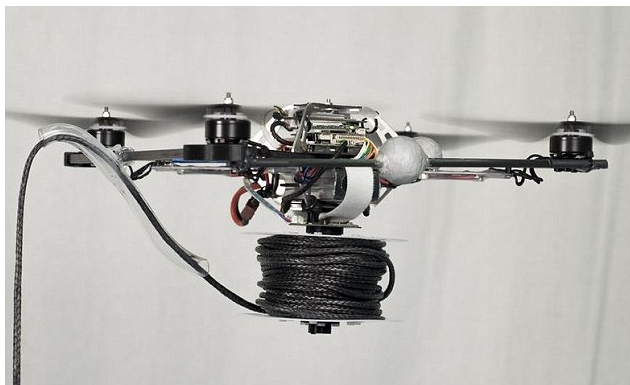


Рис. 3. Пример БПЛА, которым управляют через тонкий оптоволоконный кабель

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.

Выводы. 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 622.235

КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ВВ

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

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»,
г. Донецк, ДНР, Российская Федерация

Аннотация На основании результатов проведенных исследований авторами предложен новый критерий антигризунтности и метод определения предохранительных свойств ВВ в зависимости от величины энергии электромагнитного излучения при его взрыве, скорости детонации ВВ и содержания ингибитора в его составе.

Annotation Based on the results of the conducted research, the author proposed a new antifreeze criterion and a method for determining the protective properties of explosives depending on the energy of electromagnetic radiation during its explosion, the rate of detonation of explosives and the inhibitor content in its composition.

Ключевые слова: безопасность взрывных работ в угольных шахтах, предохранительные ВВ, критерий антигризунтности ВВ; метановоздушная смесь, пылевоздушная смесь, инфракрасное излучение, ингибитор.

Keywords: safety of blasting operations in coal mines, safety explosives, criterion of antifungal explosives; methane-air mixture, dust-air mixture, infrared radiation, inhibitor.

Как известно [1], для установления предохранительных свойств (антигризунтности) ВВ в настоящее время применяются методы их испытаний во взрывной камере опытного штрека, где создаются наиболее опасные условия взрывания зарядов. При этом моделируются ситуации, возникающие при ведении взрывных работ в забоях выработок: взрывание заряда предохранительных ВВ (ПВВ) в канале стальной мортиры без забойки имитирует торцевое обнажение заряда ВВ, а взрывание заряда ПВВ в угловой мортире с отражательной стенкой – боковое обнажение заряда ВВ. Количественной характеристикой (критерием) уровня предохранительных свойств ВВ служат предельные массы заряда ВВ, которые определяются различным образом в зависимости от класса ВВ и вида испытаний (по газу или по пыли).

Вместе с тем, примерно со второй половины XIX столетия по

настоящее время постоянно предпринимаются попытки обоснования надежного критерия антигризунтности ВВ. В этой связи необходимо упомянуть работы Э. Малляра и А. Ле-Шателье, Е. Одибера, К. Бейлинга, Л.В. Дубнова, Б.И. Вайнштейна, Ф.М. Галаджия, Б.Н. Кукиба, С.А. Калякина и ряда других авторов [2–5 и др.]. В рамках указанных исследований были установлены условия и особенности воспламенения метано- и пылевоздушных смесей (МВС и ПВС) под действием ударных волн, продуктов взрыва и горящих твердых частиц ВВ, а также характер влияния на параметры этого процесса ингибиторов, содержащихся в продуктах взрыва. Однако, исследователям далеко не всегда удавалось связать критические показатели характеризующие воспламеняющую способность ПВВ, с предельной массой заряда и определить условия безопасного применения ПВВ. Предложенные во второй половине прошлого века аналитические критерии оценки антигризунтности ПВВ в конечном итоге предполагают аппроксимацию получаемых опытным путем значений предельной массы заряда от энергии взрыва, скорости детонации, температуры продуктов взрыва ПВВ. Таким образом, результаты проведенного нами анализа показали, что надежных аналитических критериев антигризунтности пока не существует, а предельные массы зарядов ПВВ с достаточной степенью надежности можно определять лишь экспериментальным путем, то есть непосредственно во взрывоопасной среде опытного штрека.

Однако, опыт проведения таких испытаний свидетельствует о том, что они требуют выполнения весьма значительного количества взрываний и, как следствие, сильно растянуты во времени, что сопряжено с изменениями температуры, давления, влажности воздуха, а потому трудно обеспечивать единообразие условий взрывания зарядов ПВВ и выдерживать постоянной концентрацию метана и угольной пыли в воздухе. Кроме того, требуется постоянно поддерживать в рабочем состоянии сам опытный штрек, в котором регулярно производятся взрывы достаточно больших объемов МВС и ПВС. Помимо прочего это приводит и к значительным материальным затратам.

Необходимостью совершенствования данного метода было обусловлено появление идеи оценки предохранительных свойств ПВВ по некоторым физическим признакам их взрыва, например, по энергии электромагнитного (инфракрасного) излучения возбужденных взрывом ПВВ МВС и ПВС.

Приняв во внимание закон Стефана-Больцмана (1), определив энергию излучения продуктов взрыва ВВ (2), и, проведя необходимые

преобразования, получим выражение для относительной массы предельного заряда ВВ, т.е. критерий антигизунтности ВВ (3):

$$W_u = \sigma \cdot \varepsilon_{BB} \cdot S \cdot t \cdot T_{BB}^4, \quad (1)$$

где σ – постоянная Стефана–Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$;

ε_{BB} – степень черноты продуктов взрыва ВВ;

S – площадь излучающей поверхности, м^2 ;

t – продолжительность излучения, с;

T_{BB} – температура продуктов взрыва ВВ, К;

$$W_u = k_u \cdot Q_{BB} \cdot m_{BB}, \quad (2)$$

где Q_{BB} – энергия взрыва 1 кг ВВ, Дж/кг;

m_{BB} – масса заряда ВВ, кг;

k_u – коэффициент, определяющий долю энергии взрыва ВВ, трансформируемой в излучение продуктов взрыва;

$$m_{отн} = \left(\frac{Q_{BB} \cdot D_{BB} \cdot \varepsilon_{BB.эт}}{Q_{BB.эт} \cdot D_{BB.эт} \cdot \varepsilon_{BB}} \right) \cdot \left(\frac{T_{BB.эт}}{T_{BB}} \right)^4, \quad (3)$$

где $m_{отн}$ – относительная предельная масса заряда ВВ;

D_{BB} – скорость детонации ВВ, м/с;

индекс «эт» относится к параметрам ВВ, принятого за эталон, свойства которого достаточно хорошо изучены и проверены многолетней практикой его применения в угольных шахтах, опасных по газу и пыли: аммонит ПЖВ-20 (IV класс); угленит Э-6 (V класс).

Исследования в опытных штреках всех без исключения угледобывающих стран показали, что при испытаниях в канальной мортире масса предельного заряда ПВВ определяется удельной теплотой взрыва ВВ и содержанием в его составе ингибиторов (4), тогда как для открытых зарядов ВВ и для зарядов, взрывааемых в уголковой мортире, определяющими параметрами являются скорость детонации ВВ и температура продуктов детонации ВВ (5):

$$m_{отн} = \frac{\varepsilon_{BB.эт}}{\varepsilon_{BB}} \cdot \left(\frac{\overline{Q_{BB}}}{Q_{BB.эт}} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{T_{BB.эт}}{T_{BB}} \right)^4, \quad (4)$$

где $\overline{Q_{BB}} = Q_{BB} \cdot \sqrt{1 - \varepsilon_{инг}}$;

$\varepsilon_{инг}$ – содержание ингибитора в составе ВВ, кг/кг;

$D_{BB} \propto \sqrt{Q_{BB}}$;

$$m_{отн} = \frac{\varepsilon_{BB.эт}}{\varepsilon_{BB}} \cdot \left(\frac{D_{BB}}{D_{BB.эт}} \right)^3 \cdot \left(\frac{T_{BB.эт}}{T_{BB}} \right)^4. \quad (5)$$

Рассмотренные результаты экспериментальных исследований (табл. 1) [6, 7] достаточно хорошо согласуются с результатами вычислений по (4) и (5), а, следовательно, указанные критерии антигризутности являются достоверными.

Таблица 1

Результаты экспериментальной проверки (4) и (5) [6, 7]

ВВ	Класс ВВ	Уровень предохранительных свойств, m_{50} , г		$Q_{ВВ}$, кДж/кг	$\varepsilon_{инг}$, кг/кг	$D_{ВВ}$, м/с	Критерий антигризутности ВВ		
		Канал мортиры	Открытый заряд				По (4)	По (5)	Эксперимент
Аммониты									
6ЖВ	II	~50	~5...10	4314	–	4570	0,52	0,54	0,49
ПЖ В-20	IV	~350	~40	3386	0,20	3980	1,00	1,00	1,00
ВП-4	III	~157	Нет данных	3793	0,12	4350	0,76	0,77	0,71
ПЖВ *-30	–	~650		2930	0,30	3750	1,42	1,55	1,41
ТНТ *-20	–	~975		2742	0,34	3850	1,22	1,26	1,37
Углениты									
Э-6	V	>1500	440	2621	0,39	2200	2,33	2,85	3,00

* — опытные составы ВВ, отнесенные к предохранительным, содержащие поваренную соль.

В соответствии с предложением авторов, произведение отношений степени черноты продуктов взрыва и температур взрыва эталонного и исследуемого ВВ из (4) и (5) необходимо заменить отношением энергий электромагнитного (инфракрасного) излучения ($EMI=S_{ВВ}$) продуктов их взрыва, определяемым экспериментальным путем. Таким образом, критерий антигризутности ПВВ (относительная предельная масса заряда) может быть определен в соответствии с (6):

$$m_{отн} = \left(\frac{D_{ВВ}}{D_{ВВ.эт}} \right)^3 \cdot \left(\frac{1 - \varepsilon_{инг}}{1 - \varepsilon_{инг.эт}} \right)^{\frac{3}{4}} \cdot \frac{S_{ВВ.эт}}{S_{ВВ}}, \quad (6)$$

где $S_{ВВ}$ ($ВВ_{эт.}$) — получаемая экспериментальным путем величина, пропорциональная энергии электромагнитного излучения

при взрыве ВВ, В·с;

индекс «эт.» относится к параметрам ВВ, принятого за эталон, свойства которого достаточно хорошо изучены и проверены многолетней практикой его применения в угольных шахтах, опасных по газу и пыли: аммонит ПЖВ-20 (IV класс); угленит Э-6 (V класс).

В зависимости от величины $m_{отн}$, рассчитанной по (6), испытываемое ВВ следует относить к соответствующему классу.

В ходе исследований параметров электромагнитного (инфракрасного) излучения при взрыве ВВ в качестве первичного датчика авторы предлагают применять кремниевый полупроводниковый фотоприемник «ближнего» диапазона инфракрасного спектра с р-п переходом и одним фоточувствительным элементом. При проведении испытаний используются от 1 до 3 фотодиодов, устанавливаемых на разных расстояниях от источника излучения. Для усиления сигнала с фотодиода при регистрации ИК-излучения принят операционный усилитель (ОУ) с достаточной полосой пропускания при выбранном коэффициенте усиления, схемотехнически представляющий преобразователь ток-напряжение с полосовым фильтром; для обработки сигнала, поступающего с ОУ выбран аналого-цифровой преобразователь (АЦП); для приема сигнала с АЦП посредством интерфейса USB используется мобильный автономный пост управления, обработки и коммутации, который играет роль ПК; для работы с АЦП применяется лицензионное программное обеспечение, предназначенное для регистрации, визуализации, хранения, обработки и анализа аналогового сигнала с датчиков электромагнитного излучения, преобразуемых в цифровую форму.

Скорость детонации определяется, например, с использованием ионизационных датчиков и измерителя интервалов времени.

Особо отметим, что все оборудование и программное обеспечение для исследований производится в Российской Федерации. Эксперименты проводятся в лаборатории буровзрывных работ кафедры СЗПСиГ ФГБОУ ВО ДонНТУ.

Результаты испытаний составов ВВ [8] с различным содержанием алюминиевой пудры, тротила и аммиачной селитры показали, что показатель электромагнитного излучения $EMI = S_{ВВ}$, определяемый как площадь под получаемой экспериментально кривой напряжение-время, имеет очень сильную прямую корреляционную связь с температурой взрыва ВВ в 4-й степени (коэффициент корреляции равен 0,927), что подтверждает адекватность (6).

Выводы.

Результаты проведенных авторами исследований позволяют обосновать новый критерий антигризутности ПВВ и метод определения уровня предохранительных свойств ВВ в зависимости от величины энергии электромагнитного излучения при его взрыве, скорости детонации ВВ и содержания ингибитора в его составе.

Перечень ссылок

1. Александров В.Е. Безопасность взрывных работ в угольных шахтах / В.Е. Александров, Н.Р. Шевцов, Б.И. Вайнштейн. – М.: Недра, 1986. – 149 с.
2. Андреев К.К. Теория взрывчатых веществ / К.К. Андреев, А.Ф. Беляев. – М.: Оборонгиз, 1960. – 595 с.
3. Бейлинг К. Исследование безопасности предохранительных взрывчатых веществ / К. Бейлинг. – М.: «За овладение техникой», 1933. – № 3. – С. 3–5.
4. Вайнштейн Б.И. О механизме воспламенения газовых смесей детонирующим зарядом ВВ / Б.И. Вайнштейн, Ф.М. Галаджий // Взрывное дело, № 75/32. – М.: Недра, 1975. – С. 180-185.
5. Кукиб Б.Н. О механизме воспламенения метано-воздушных смесей детонирующими зарядами взрывчатых веществ / Б.Н. Кукиб // Взрывное дело, № 75/32. – М.: Недра, 1975. – С. 177-179.
6. Галаджий Ф.М. Инфракрасное излучение метановоздушной смеси, возбужденной взрывом заряда ВВ / [Ф.М. Галаджий и др.] // Безопасность взрывных работ в угольных шахтах: Сб. научн. тр. МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 1971. – С. 28-31.
7. Вайнштейн Б.И. Об аналитическом определении предохранительных свойств ВВ / Б.И. Вайнштейн, Ф.М. Галаджий, В.И. Комская // Взрывное дело, № 75/32. – М.: Недра, 1975. – С. 185-190.
8. 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. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=73459736> (дата обращения 20.01.2025 г.)

УДК 658.512+622.272

АКТУАЛИЗАЦИЯ КАК НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП РЕИНЖИНИРИНГА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

И.С.Костюк, Д.Д.Ян
ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. Приведены основные смыслы, вкладываемые в понятие актуализация, перечислены объекты этого понятия и выполняемые им функции. Установлена взаимосвязь актуализации с реинжинирингом. Раскрыта практическая значимость и ценность актуализации на улучшение экономических показателей выполнения производственного процесса. Представлены основные направления актуализации применительно к добыче полезных ископаемых и предметы ее приложения.

Annotation. The main meanings put into the concept of actualization are given, the objects of this concept and the functions performed by it are listed. The relationship between updating and reengineering has been established. The practical significance and value of updating to improve the economic indicators of the production process is disclosed. The main directions of updating in relation to mining and its applications are presented.

Ключевые слова: актуализация, практическая значимость, реинжиниринг, производственные процессы, бизнес-процессы, горные предприятия, горные процессы.

Keywords: actualization, practical significance, reengineering, production processes, business processes, mining enterprises, mining processes.

Введение

Диалектика любого производственного процесса, используемого на горных предприятиях, состоит в том, что он не может долгие годы эксплуатироваться без каких-либо технологических и технических изменений, поскольку с течением времени данный процесс морально устаревает, понижается его эффективность, либо его результаты начинают не соответствовать современным запросам горного производства и не удовлетворять его насущным потребностям. По этим причинам происходит ухудшение технико-экономических показателей выполняемых работ, и руководство предприятия вынуждено предпринимать контрмеры для устранения возникших противоречий. Для этого руководство предприятия должно принять определенные

инженерные и управленческие решения, которые будут направлены на адаптацию конкретного производственного процесса к горно-геологическим и горнотехническим условиям, поскольку изменение последних явилось основной причиной зарождения проблемы. В связи с этим конкретный производственный процесс необходимо адаптировать либо усовершенствовать, либо заменить на более прогрессивный.

Современные подходы к бизнес-проектированию (инжинирингу) диктуют необходимость актуализации производственных процессов (бизнес-процессов), т.е. необходимо сделать их более действенными, результативными и эффективными. Данный подход коррелирует с требованиями культуры организации современного и высокоэффективного производства и является особенно релевантным для горных предприятий. Он позволяет своевременно инициировать поиск инновационных решений и стратегий для повышения рентабельности функционирования современного горного производства.

Целью статьи является обоснование необходимости и практической значимости этапа актуализации производственного процесса, длительное время применявшегося на горнодобывающем предприятии и установление роли данного этапа в контексте реинжиниринга производственного процесса, направленного на повышение его результативности и эффективности после внедрения инновационного процесса.

Для осуществления цели необходимо решить следующие задачи:

1. Обобщить основные смыслы, вкладываемые в понятие актуализация, а также выяснить что может являться объектом этого понятия и выполняемые им функции.
2. Установить взаимосвязь актуализации с реинжинирингом.
3. Определить влияние практической значимости и ценности такого подхода на улучшение экономических показателей выполнения производственного процесса.
4. Выявить основные направления актуализации применительно к добыче полезных ископаемых и предметы ее приложения.

Состояние вопроса

Проанализировав наиболее часто встречающиеся толкования понятия «актуализация» в некоторых современных словарях, а также широко распространенные смыслы, вкладываемые в данную дефиницию установлено, что данное понятие в последнее время часто используется в бизнес-проектировании и бизнес-моделировании для удовлетворения важных потребностей производства. В последнее время этот процесс стал все глубже внедряться и чаще использоваться в горном производстве, а именно — поддержание данных в актуальном

состоянии, превращение потенциальных или абстрактных элементов в активное или конкретное состояние, поддержание регламента или инструкции в рабочем состоянии на всех стадиях жизненного цикла производственного процесса: от разработки до окончания использования, а также это действие, направленное на приспособление чего-либо к условиям данной ситуации, т.е. приведение производственной деятельности в соответствие с текущей ситуацией на рынках продукции, ресурсов и труда.

Таким образом, понятие актуализация подразумевает, что какой-то объект необходимо «актуализировать» или также в этом смысле можно использовать другие синонимы: «обновлять», «активировать», «модернизировать», «совершенствовать», «адаптировать», «реинжиниринговать» и т.п.

В связи с этим активизация, как этап может являться началом других процессов. Он предназначен для выполнения следующих функций: поддерживать в актуальном состоянии базы данных, справочного материала, нормативно-технической документации; учитывать в производственной деятельности изменения законодательства, стандартов, конъюнктуры рынков, технологий; повышать эффективность работы за счет совершенствования процессов, внедрения инноваций, выпуска новых продуктов, освоения новых направлений.

Также этап актуализации, может быть, применим к следующим потенциально возможным объектам: документам, базам данных, техническим стандартам, продукции или услугам, производственным процессам (бизнес-процессам), системам менеджмента качества или безопасности и т.п. Из всех вышеперечисленных вариантов наиболее близким к выбранному объекту исследования являются любые производственные процессы (бизнес-процессы), поэтому теперь необходимо выяснить: почему их необходимо актуализировать при ведении горных работ, чем обусловлен этот процесс и какую последовательность действий он должен включать?

Основные результаты

Следует отметить, что любой бизнес-процесс не может продолжительное время использоваться без каких-либо количественных или качественных изменений, потому что с течением времени претерпевают изменения влияющие факторы, поскольку, в какие-то моменты, свои коррективы вносит технический прогресс, изменяются запросы общества и неожиданно возникает потребность в новой продукции или в организации более качественного выполнения производственного процесса в соответствии с обновленными стандартами.

Все отмеченное еще усложняется тем, что «реальные бизнес-процессы и процессные системы на практике функционируют в условиях неопределенности всех определяющих их факторов: будущих состояний экономики, финансов, конъюнктуры рынка, будущих цен на ресурсы и энергоносители, объемов инвестиций, спроса на новый продукт, шансов, рисков, а также будущей финансовой устойчивости организационных единиц, входящих в процессную систему» [1]. Это вызвано и объясняется тем, что «неопределенность как настоящего, так и будущего, является неотъемлемым атрибутом реальной действительности, поэтому для адекватного описания реальности необходимо, чтобы условия неопределенности включались в создаваемые методы моделирования и оптимизации бизнес-процессов» [1]. По сути дела, учет неопределенности перед тем как реально внедрять новый бизнес-процесс в действующее производство его необходимо актуализировать с помощью моделирования, которое позволит установить степень влияния того или иного фактора в данный момент времени.

Радикальное перепроектирование бизнес-процесса обозначает глубинное изменение, в корнях процедур: это решительный отказ от всего отжившего, в пользу новых методов, материалов, социально-экономических отношений.

Следует уточнить, что понятия «актуализация производственного процесса» и «реинжиниринг производственного процесса» это не полноценные синонимы, а составляющая компонента одной в другой, т.е. актуализация является первой составляющей архитектуры реинжиниринга, которая «представляет, что один бизнес-процесс вызывает создание и запуск другого бизнес-процесса» [2]. По нашему мнению, для того чтобы эффективно выполнить процесс реинжиниринга производственного процесса, необходимо начать с того, что предстоит выяснить, какие предпосылки того, что он не соответствует современным требованиям, условиям либо потребностям, т.е. первоначально субъект управления ощущает или каким-то способом воспринимает существенные несоответствия между желаемыми результатами производственного процесса и фактическими. Это также обуславливается тем, что актуализация, с одной стороны, включает процедуру «идентификации процессов, нуждающихся в изменениях», а с другой стороны, «важно, чтобы архитектура процессов всегда поддерживалась в актуальном состоянии» [3], потому что «отсутствие целенаправленно и последовательно выстроенной архитектуры бизнес-процессов снижает качество управления, что приводит в дальнейшем к потере рентабельности организации» [4]. Таким образом, актуализация производственного процесса вначале позволяет выявить, идентифицировать и осознать причины несоответствия, а также оценить их значимость и размер.

Это в последующем позволит грамотно спроектировать эффективную архитектуру будущего производственного процесса, т.е. выбрать правильное направление и стратегию осуществления реинжиниринга, поскольку «архитектура бизнес-процессов является важнейшей ступенью проекта и организации менеджмента бизнес-процессов (BPM)» [3].

Выполненные теоретические исследования позволяют заключить, что в дальнейшем под актуализацией производственного процесса (бизнес-процесса) будем понимать, что это трансформация организации производственного процесса на качественно новый уровень, или постепенный переход из состояния потенциального, (т.е. не соответствующего современным условиям и потребностям), в состояние реальное, актуальное, (т.е. соответствующее современным условиям и потребностям), поэтому в таком контексте актуализация в процессе добычи включает обновление и адаптацию производственных процессов, технологий и техники в ответ на современные вызовы, что повышает эффективность, снижает экологическое воздействие и соответствует новым законодательным нормам.

На основании вышеизложенного можем сформулировать следующие основные направления этапа актуализации и предметы ее приложения применительно к добыче угля, а именно:

1. Эволюционное обновление технологий, производственных процессов и горношахтного оборудования: современные угледобывающие предприятия активно внедряют цифровые технологии, автоматизацию и роботизацию производственных процессов. Это позволяет значительно повысить безопасность труда, снизить эксплуатационные затраты и увеличить производительность.

2. Экологические аспекты: в условиях растущих экологических стандартов внимание всё больше уделяется технологиям, которые помогают уменьшить количество выбросов углекислого газа, очистить сточные воды из шахт, восстановить земли после добычи и либо утилизировать, либо озеленить отвалы. Это способствует улучшению экологической ситуации и снижению загрязнения окружающей среды в районах, где работают шахты.

3. Энергетическая трансформация: угольная отрасль сталкивается с конкуренцией со стороны возобновляемых источников энергии. Компании адаптируются, инвестируя в более экологические методы переработки угля, включая технологии улавливания и хранения углерода (CCS), а также новые способы обогащения углей.

4. Экономические и социальные аспекты: в условиях динамичного изменения конъюнктуры рынка угольной продукции, а именно роста цен, трансформации логистических цепочек поставок и

реформирования отраслевой структуры занятости, возникает необходимость адаптации бизнес-моделей и разработки механизмов социальной поддержки работников в регионах, где угольная промышленность является ключевым сектором экономики.

Комплексный анализ вышеупомянутых факторов позволяет не только оптимизировать технико-экономические параметры процесса добычи угля, но и существенно повысить его социальную эффективность. В свою очередь, это способствует увеличению рентабельности производственных процессов и, как следствие, повышению конкурентоспособности угольной продукции на мировом рынке. При этом, стратегическое переосмысление подходов к управлению угольной отраслью и внедрение инновационных решений в области логистики и социальной политики являются неотъемлемыми элементами обеспечения устойчивого развития данного сектора экономики.

Итак, улучшение работы по добыче угля — это многоаспектный процесс, который включает в себя не только использование новых технологий, но и создание общего плана по улучшению всей системы добычи. Этот план должен учитывать экономические, экологические и технологические факторы. Например, нужно найти баланс между тем, чтобы добыча угля была экономически выгодной, чтобы при этом соблюдались строгие экологические нормы и чтобы хватало угля для энергетики и производства. Шахты, которые могут быстро подстраиваться под изменения на рынке и в окружающей среде, смогут помочь угольной промышленности развиваться стабильно в условиях быстро меняющегося мира.

Следует также отметить, что сформулированные нами направления этапа актуализации, по некоторым аспектам совпадают с направлениями реинжиниринга производственных процессов угледобывающего предприятия предложенными Черниковой О.П. [5], а именно: повышение эффективности производственных процессов угледобычи, совершенствование горно-технологической структуры шахты, повышение безопасности горных работ, производство новых видов продукции и улучшение охраны окружающей среды.

Проведение этапа актуализации в современных реалиях позволяет сформировать новое радикальное видение горного процесса, потому что, как правило, всегда остается достаточное количество отдельных вопросов, которые необходимо согласовать, адаптировать, разрешить, отладить и т.п. для конкретных горнотехнических условий.

Выводы

Подводя итоги, результатов достижения поставленной цели исследований и решения поставленных задач можно отметить следующее:

1. Анализ и обобщение научных публикаций за последние годы позволил выявить, что в процесс «Актуализация» все шире и чаще используется в современном бизнес-моделировании и бизнес-проектировании производственный процесс (бизнес-процесс).

2. Установлено, что основными причинами необходимости периодического совершенствования производственных процессов являются: влияние технического прогресса, изменение влияющих факторов в условиях неопределенности процесса, повышение производственных потребностей.

3. Практическая значимость и ценность процесса «Актуализация» заключается в его значительном влиянии на улучшение экономических показателей выполнения производственного процесса и на его конкретные результаты, а также он является начальным этапом реинжиниринга, поэтому им необходимо упорядоченно и систематически управлять.

4. Применительно к добыче угля процесс актуализации используется по следующим направлениям: эволюционное обновление технологий, производственных процессов и горношахтного оборудования, экологические аспекты, энергетическая трансформация, и также экономические и социальные аспекты, которые используются для повышения эффективности, снижения экологического воздействия и соблюдения новых законодательных норм, на основе валидации, т.е. проверки систем, процессов, пользователей на то, как они соответствуют современным установленным требованиям.

5. Полезность и необходимость использования этапа актуализации для реинжиниринга морально устаревшего производственного процесса обусловлена тем, что реализация этапа актуализации в современных реалиях позволяет сформировать новое радикальное видение производственного процесса и учесть изменение горного давления с изменением глубины разработки, уточнить изменение горно-геологических условий, а также учесть изменения в ресурсобеспечении производственного процесса, за счет появления новых видов техники и материалов, которые существенно изменяют конечные результаты расчета параметров выполнения производственного процесса.

Перечень ссылок

1. Мадера А.Г. Моделирование и оптимизация бизнес-процессов и процессных систем в условиях неопределенности // Бизнес-информатика. 2017. №4(42). С. 74–82. DOI: 10.17323/1998-0663.2017.4.74.82.

2. Карпова Е.В. Архитектурный подход в управлении бизнес-процессами на предприятии / Е.В.Карпова, А.В. Катынь // Огарёв-Online. 2021. № 8 (161).

3. Лапшин В. С. Управление бизнес-процессами на основе архитектурного подхода / В.С.Лапшин, Ю.В.Ямашкин // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. – 2015. – № 3(34). – С. 212–217.

4. Быкова А. В. Разработка архитектуры бизнес-процессов / А. В. Быкова // Фундаментальные исследования. 2021. №8. — С. 5–9.

5. Черникова, О.П. Реинжиниринг бизнес-процессов угледобывающего предприятия / О.П. Черникова. — Текст : электронный // NovaInfo, 2016. — № 48 — С. 243-254 — URL: <https://novainfo.ru/article/7163> (дата обращения: 29.03.2025).

УДК 341.443

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ
КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА
ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Д.Ю. Красноухова
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II»,
г. Санкт-Петербург

Аннотация. В горнодобывающей промышленности России, как одной из самых опасных отраслей, остается актуальной проблема травмирования работников. Применяемые методики обеспечения безопасности и современные технологии без активного развития культуры безопасности труда не показывают должной эффективности.

Annotation. In the mining industry of Russia, as one of the most dangerous industries, the problem of injury to workers remains urgent. The applied safety techniques and modern technologies do not show proper effectiveness without the active development of an occupational safety culture.

Ключевые слова: вредные факторы, безопасное поведение, риск ошибочных действий, травматизм, психофизиологическое состояние работников, человеческий фактор

Keywords: the harmful factors, safe behavior, risk of erroneous actions, injury, psychophysiological condition of employees, the human factor

По данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [1], угольная промышленность является одной из наиболее опасных отраслей с точки зрения условий труда и рисков для здоровья работников. Коэффициент частоты травматизма при подземной добыче угля (5,8) значительно выше, чем при открытых горных работах (2,5). Это говорит о том, что подземная добыча угля более опасна, чем открытые горные работы.

Таблица 1 содержит данные о числе пострадавших на угольных шахтах за последние десять лет, согласно итогам статистических наблюдений, содержащихся в ежегодных отчетах Росстата "Сведения о травматизме на производстве и профессиональных заболеваниях" [1]. Эти сведения позволяют проанализировать динамику травматизма и выявить ключевые факторы, влияющие на безопасность труда в угольной промышленности.

Среди основных проблем, связанных с обеспечением безопасности работ в опасных условиях, можно выделить

недостаточный уровень формализации процессов управления безопасностью. Существующие методы и подходы к обеспечению безопасности труда применяются без глубокого понимания их сути. Это приводит к тому, что процедуры выполняются механически, исключительно для формального соблюдения нормативных требований. Такой подход не способствует развитию культуры активного управления рисками и не обеспечивает должный уровень безопасности работников.

Таблица 1 – Сведения о травматизме при подземной добыче угля за 2014 -2023 года [1].

Год	Средняя численность работников, человек	Численность пострадавших с утратой трудоспособности, человек	Численность пострадавших при НС со смертельным исходом, человек	Число рабочих человеко-дней нетрудоспособности у пострадавших при НС с утратой трудоспособности, человек	Численность пострадавших, переведенных с основной работы на другую по медицинскому заключению, человек
2023	144 529	366	12	22 568	10
2022	145 528	448	13	26 504	13
2021	136 457	482	63	25 583	62
2020	136 039	368	24	26 571	23
2019	141 537	400	23	36 510	23
2018	140 185	437	21	30 360	21
2017	136 574	496	21	37 772	21
2016	155 804	633	53	44 229	45
2015	171 841	676	31	48 022	36
2014	174 683	621	38	51 696	33

При этом существующие системы управления безопасностью не отличаются высокой степенью интеграции и автоматизации. Отсутствие современных аналитических инструментов и прогностических моделей снижает эффективность превентивных мер,

затрудняя своевременное выявление и предотвращение потенциально опасных ситуаций [2].

В результате детального анализа причинно-следственных механизмов травматизма в горнодобывающей отрасли за последние десять лет было выявлено, что доминирующим фактором, обуславливающим несчастные случаи при выполнении работ, является человеческий фактор (ЧФ).

Таким образом, основной проблемой воздействия человеческого фактора (70-80% случаев) заключается в халатности, нарушении инструкций, недостаточной обученности, и ошибок управления, такие как отсутствие контроля и экономия на безопасности в пользу производительности. Для решения этих проблем необходимо повысить уровень подготовки специалистов и регулярно проводить обучение, внедрить систему контроля и аудита безопасности, пересмотреть подход к организации работ с акцентом на планирование и безопасность, обеспечить соблюдение требований безопасности и нормативов, а также создать условия для безопасного труда, включая обустройство рабочих мест и применение СИЗ.

Человеческий фактор представляет собой многокомпонентную концепцию, интегрирующую психофизиологические и когнитивные аспекты личности в контексте взаимодействия с техническими системами [3].

В мировом опыте применяются современные методики обеспечения безопасности, что позволяет снизить уровень травматизма, в том числе в опасных отраслях. Наиболее эффективной стратегией управления безопасностью является сочетание поведенческих методов (BBS), глубокого анализа причин инцидентов (RCA) и объективной статистической оценки (например, LTIFR). Такой комплексный подход позволяет не только выявлять и устранять причины инцидентов, но и формировать культуру безопасности среди работников, что является ключевым фактором в обеспечении устойчивого снижения уровня травматизма.

В России рассматриваемые методы малоприменимы, в результате применяемые методики анализа оказываются малоэффективны, так как не учитывают психофизиологические и когнитивные аспекты личности в контексте взаимодействия в системе «человек – техническая система – производственная среда». Также, необходимо учитывать культурные и социальные особенности, поскольку ключевым фактором повышения безопасного поведения является усиление мотивации работников к соблюдению правил безопасности. Это может быть достигнуто через

образовательные программы, тренинги и внедрение систем поощрения за безопасное поведение.

Перечень ссылок

1. Федеральная служба государственной статистики России. URL: https://rosstat.gov.ru/working_conditions.

2. Ильяшенко И. С., Коршунов Г. И., Ковшов С. В. Методы оценки статистических связей для определения влияния климатических параметров на запыленность воздуха на рабочих местах открытых горных работ // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2025. – Т. 14, № 1(69). – С. 170-179. – EDN VQXMDF.

3. Кабанов Е. И., Туманов М. В., Сметанин В. С., Романов К. В. Инновационный подход к профилактике травм на горнодобывающих предприятиях на основе управления человеческим фактором // Записки Горного института. – 2023. – Т. 263. – С. 774-784.

УДК 622. 8:621.86.06

О ПРОФЕССИЯХ РАБОТНИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ, ТРАВМИРОВАННЫХ ПРИ СТРОПАЛЬНЫХ РАБОТАХ

О.Г. Кременев

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ
В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

г. Макеевка, ДНР

***Аннотация.** Выполнен анализ аварийности и травматизма при выполнении стропальных работ в подземных выработках и технологическом комплексе поверхности угольных шахт. Установлены профессии работников шахт, травмированных при выполнении стропальных работ на рабочих местах в угольных шахтах Донецкой Народной Республики*

***Annotation.** An analysis of accidents and injuries during slinging operations in underground workings and the technological complex of the surface of coalmines has been performed. The professions of mineworkers injured while performing slinging work at workplaces in coalmines of the Donetsk People's Republic have been identified.*

***Ключевые слова:** грузоподъемное оборудование, охрана труда, профессия, стропальные работы, травматизм, угольная шахта*

***Keywords:** lifting equipment, labor protection, profession, slinging, injury, coal mine*

Установлено, что стропальные работы (СР) являются высоко травмоопасными [1]. В угольных шахтах выполнение СР в основном происходит при монтажно-демонтажных, погрузочно-разгрузочных, транспортно-складских (ПРТС) работах, доставке грузов на промышленной площадке технологического комплекса поверхности (ТКП) шахты и в условиях подземных выработок предприятий угольной отрасли.

Анализ аварий и несчастных случаев (НС) работников угольных шахт, травмированных при выполнении СР, для формулирования новых, уточнения и дополнения существующих требований по охране труда при выполнении СР в условиях шахт Донбасса – актуальная задача угольной отрасли.

Цель статьи – установление профессий работников угольных шахт, травмированных при выполнении стропальных работ в подземных выработках и на поверхности угольных шахт.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи.

1. Проведен анализ актов аварий и несчастных случаев, произошедших при выполнении стропальных работ в подземных выработках и технологическом комплексе поверхности угольных шахт ДНР.

2. Установлен перечень профессий работников угольных шахт, травмированных при выполнении стропальных работ в угольной шахте, а также доля травмированных работников на поверхности и в подземных выработках угольных шахт ДНР.

3. Установлены виды стропальных работ, выполняемых с помощью грузоподъемного оборудования с механическим и ручным приводами, вспомогательные приспособления, при использовании которых происходило травмирование работников угольных шахт, наиболее травмоопасные профессии работников, выполнявших СР.

Стропальные работы – это комплекс операций, связанных с захватом, подъемом, перемещением, разгрузкой и погрузкой монтажных элементов, технологических конструкций, оборудования и других грузов, перемещаемых грузоподъемными механизмами. Они включают операции по вертикальному перемещению груза с помощью подъемно-транспортной техники, специальных вспомогательных приспособлений для производства погрузочно-разгрузочных работ (ПРР) [2]. Погрузочно-разгрузочные работы – это комплекс мер, направленных на поднятие разнообразных грузов с целью их погрузки или выгрузки как вручную, так и при помощи специализированной техники [3]. СР выполняются работником по профессии «стропальщик», который аттестован квалификационной комиссией и имеет выданное в установленном порядке удостоверение на право самостоятельной работы по соответствующим видам деятельности. Для выполнения стропальных работ (обвязки, зацепки, закрепления груза и подвешивания его на крюк крана при помощи стропов или специальных грузозахватных приспособлений или тары) руководитель предприятия должен назначить (приказом или распоряжением) обученных и аттестованных стропальщиков.

В соответствии с типовой инструкцией для стропальщиков по безопасному производству работ грузоподъемными машинами [4] к строповке грузов могут допускаться рабочие смежных профессий (монтажники, слесари, такелажники и т.п.), обученные по профессии, квалификационной характеристикой которых предусмотрено выполнение работ по строповке грузов. В удостоверениях таких рабочих должна быть запись о присвоении им квалификации

стропальщика. При этом если при выполнении строповочных операций груз подвешивается на крюк крана без предварительной обвязки (груз, имеющий петли, рымы, цапфы, а также находящийся в ковшах, бадьях, контейнерах или другой таре) или захватывается полуавтоматическими захватами, к выполнению обязанностей стропальщиков могут допускаться рабочие основных профессий, дополнительно обученные по сокращенной программе, согласованной с органами Ростехнадзора. Обучение стропальщиков должно проводиться в профессионально-технических учебных заведениях или на курсах, создаваемых на предприятиях, имеющих на это разрешение (лицензию) Министерства образования РФ [1,4].

Охрана труда при выполнении СР регламентируется правилами по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов [5]. Однако работа на предприятиях угольной отрасли, особенно в подземных условиях, имеет свою специфику, которая обусловлена: ограниченным пространством и недостаточной освещенностью рабочего места, загазованностью, запыленностью, повышенной температурой и влажностью шахтного воздуха, производственным шумом, движущимися машинами и механизмами и другими вредными и опасными факторами. Последнее обстоятельство обуславливает необходимость разработки (для работников различных профессий угольной шахты, привлекаемых к выполнению СР) производственной инструкции, содержащей требования по безопасному производству работ грузоподъемными машинами с учетом конструктивных особенностей машин и грузозахватных приспособлений, а также шахтных (подземных) условий их безопасной эксплуатации. Производственная инструкция по охране труда разрабатывается и утверждается работодателем, вводится в действие приказом по предприятию и выдается стропальщику; при этом он должен расписаться в журнале проверки знаний персонала, обслуживающего грузоподъемные машины.

Для разработки такой производственной инструкции по охране труда для выполнения СР был выполнен анализ имеющихся в МАКНИИ актов об авариях и НС, происшедших на производстве в шахтах ДНР при выполнении СР. Результаты анализа позволили установить перечень профессий работников угольных шахт, травмированных при выполнении СР и долю работников отдельной профессии от суммы профессий всех травмированных работников при СР, которые приведены в таблице.

Таблица – Профессии работников, травмированных при стропальных работах на промплощадке технологического комплекса

Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве

поверхности и в подземных выработках угольных шахт ДНР

№ п/п	Наименование профессии работника шахты	Количество травмированных работников, чел.	Доля работников отдельной шахтной профессии от всех травмированных работников, %
В подземных выработках шахты			
1	Проходчик	25	39,06
2	Горномонтажник подземный	8	12,50
3	Горнорабочий по ремонту горных выработок	6	9,375
4	Горнорабочий очистного забоя	4	6,25
5	Горнорабочий подземный	3	4,69
6	Электрослесарь подземный	3	4,69
7	Машинист подземной установки	2	3,125
8	Мастер горный	2)	3,125
9	Машинист горных выемочных машин	1	1,56
10	Машинист электровоза	1	1,56
	Всего в шахте	$\Sigma = 55$	85,94
На поверхности ТКП			
1	Горнорабочий поверхности	2	3,12
2	Электросварщик ручной сварки	2	3,12
3	Тракторист-машинист	1	1,56
4	Станочник деревообрабатывающих станков	1	1,56
5	Мастер-взрывник	1	1,56
6	Токарь	1	1,56
7	Маляр-штукатур	1	1,56
	Всего на поверхности	$\Sigma = 9$	14,06
	Всего на поверхности и в шахте	$55+9=64$	100

Обобщенные результаты исследований и анализа имеющихся в МАКНИИ актов аварий и НС, произошедших в угольных шахтах при выполнении СР, позволили сделать следующие выводы.

1. Наибольшее количество травмированных работников при выполнении СР происходит в подземных выработках шахт и составило 85,94%, травмированных на поверхности шахты – 14,06% от всех травмированных работников шахт при выполнении СР.

2. Наиболее травмоопасными профессиями при выполнении СР в угольных шахтах являются: проходчик – 39,06%, горномонтажник подземный – 12,5%, горнорабочий по ремонту горных выработок – 9,375% от всех травмированных работников при выполнении СР.

3. Травматизм работников угольных шахт при СР, выполняемых вручную, составил 46,91%, выполняемых с помощью грузоподъемного

оборудования с ручным приводом – 16,05%, суммарный травматизм СР, выполняемых вручную и с применением грузоподъемного оборудования с ручным приводом составил 62,96% от всего травматизма СР в шахтах.

4. Травматизм работников угольных шахт при СР, выполняемых с помощью грузоподъемного оборудования с механическим и частично механическим приводом составил 6,18% от всего травматизма СР в шахтах.

5. Травматизм работников угольных шахт при выполнении стропальных работ, из-за неисправности, дефектов или неприменения вспомогательных приспособлений составил 30,86% от суммарного травматизма при СР в угольных шахтах.

Перечень ссылок

1. Оксанич, Л.В. Безопасность труда: учебное пособие для стропальщиков по безопасному производству работ грузоподъемными машинами / Л.В. Оксанич. – Текст: электронный // Государственное автономное образовательное учреждение среднего профессионального образования Ишимбайский нефтяной колледж. Ассоциация эффективного управления производственными активами (Ассоциация ЕАМ): [сайт]. – 2012-2024. – URL: <https://eam.su/bezopasnost-truda.html> (дата обращения 09.04.2025).

2. Стropальные работы. Виды перевозимых грузов и применяемая тара. Виды грузозахватных устройств. – Текст: электронный // ВУнивере.ру: [сайт]. 2025. – URL: <https://vunivere.ru/work30586> (дата обращения 10.03.2025).

3. Виды и характеристики ПРТС (погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских) работ. – Текст: электронный // Файловый архив студентов. ОПТСС-Лекция 01.doc: [сайт]. – 2015. – URL: <https://studfile.net/preview/1864662/page:4> (дата обращения 25.02.2025).

4. Типовая инструкция для стропальщиков по безопасному производству работ грузоподъемными машинами – Текст: электронный // Охрана труда в России: [сайт]. 2001-2025. – URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/250516/?ysclid=m99vcfdfa4958594738 (дата обращения 09.04.2025).

5. Правила по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов (утверждены Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации Минтруда от 28.10.2020 № 753н). – Текст: электронный // Контур Норматив: [сайт]. – 2020. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=386233&ysclid=m99vy1wdho939262842> (дата обращения 04.02.2025).

УДК 622.7

**ПЕРЕРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ
ОТХОДОВ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЗДАНИЙ И ОБЪЕКТОВ
ВСЛЕДСТВИЕ ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ В ДОНБАССЕ**

А.В. Кузнецов, А.Н. Корчевский

ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

г. Донецк, ДНР

Аннотация: Военные действия в Донбассе с 2014 года вызвали масштабные разрушения и большие объёмы строительных отходов. Современные технологии и мобильные установки позволяют эффективно перерабатывать отходы на месте. Это снижает расходы и экологический вред, способствуя устойчивому восстановлению региона.

Annotation: The military actions in Donbas since 2014 have caused extensive destruction and significant volumes of construction waste. Modern technologies and mobile facilities enable efficient on-site waste recycling. This reduces costs and environmental harm, promoting sustainable recovery of the region.

Ключевые слова: строительные отходы, переработка, восстановление, снос зданий, мобильные дробильные установки.

Keywords: construction waste, recycling, recovery, building demolition, mobile crushing units.

Военные действия в Донбассе с 2014 года привели к масштабным разрушениям жилых, социальных и промышленных объектов. По состоянию на середину 2022 года в Донецкой Народной Республике (ДНР) разрушено свыше 5 тысяч многоквартирных и 26 тысяч частных домов, а также более тысячи объектов социальной инфраструктуры. Значительная часть зданий не подлежит восстановлению и требует сноса, что вызывает образование огромного объёма строительных отходов.

Эффективная переработка и утилизация этих отходов — ключевой фактор устойчивого восстановления региона, снижения негативного воздействия на окружающую среду и рационального использования ресурсов.

**Исторический и современный контекст восстановления
Донбасса**

Сравнение с восстановлением Донбасса после Второй мировой

войны показывает, что тогда приоритетом была быстрая индустриализация и восстановление угольной и металлургической промышленности. Сегодня же восстановление ориентировано на комплексное развитие региона с учётом современных технологий, экологических стандартов и социальной инфраструктуры.

Восстановление требует не только ремонта зданий, но и создания устойчивой инфраструктуры, цифровизации, диверсификации экономики и поддержки малого бизнеса. В этом контексте переработка строительных отходов становится важной частью обеспечения экологической безопасности и экономической эффективности. [1].

Объемы и состав строительных отходов

Объём строительных отходов, образовавшихся вследствие военных действий, оценивается в сотни тысяч тонн. Основные категории отходов:

- Отходы сноса зданий, не подлежащих восстановлению (около 2480 зданий).
- Отходы ремонта и реконструкции (около 28 520 зданий).
- Отходы от разборки промышленных и инфраструктурных объектов.

•



Рисунок 1. Объемы строительных отходов вследствие военных действий в Донецкой Народной Республике

Типы отходов включают бетон и железобетон, кирпич, асфальт, древесину, металлолом, стекло и полимерные материалы.

Технологии обнаружения и учета разрушенных объектов

Для точного учёта разрушений используются современные технологии:

- Спутниковая съемка (Sentinel, Maxar, PlanetScope) и аэрофотосъемка с дронов.

- Геоинформационные системы (ГИС) для создания цифровых карт повреждений.

- Наземный мониторинг с использованием данных МЧС, муниципалитетов и местных жителей.

- Искусственный интеллект для автоматического анализа снимков и классификации разрушений.

Эти технологии позволяют оперативно и точно оценивать масштабы разрушений, что важно для планирования сноса и переработки отходов.

Методы сноса зданий

Выбор метода сноса зависит от типа и состояния здания, а также от условий площадки:

- **Механический снос** — наиболее распространённый метод с использованием экскаваторов, гидромолотов и другой техники.

- **Снос направленным взрывом** — применяется для крупных и высотных зданий, позволяет быстро разрушить конструкции.

- **Ручная разборка** — используется при ограниченном доступе или небольших объемах работ.

- **Комбинированные методы** — сочетают различные подходы для оптимизации процесса.

Правильный выбор метода снижает затраты и улучшает безопасность работ. [2].

Методы переработки строительных отходов

- **Механическая переработка:** дробление бетона и отделение арматуры, получение щебня и песка для повторного использования в строительстве.

- **Термическая переработка:** применение высоких температур для разрушения и очистки материалов.

- **Химическая переработка:** использование химических реагентов для разложения бетонных отходов.

- **Регенерация бетона:** восстановление свойств бетона с помощью добавок, что позволяет создавать новые строительные материалы из вторичного сырья.

Переработка значительно снижает экологическую нагрузку и экономит природные ресурсы. [3].

Мобильная станция серии ZY-3 представляет собой интегрированное решение, разработанное по запросу клиента. В традиционной производственной линии используется 2-3 автомобиля для производства, тогда как мобильная станция серии ZY-3 объединяет

их в одно целое, устраняя препятствия на месте дробления, такие как сложные условия, необходимость в фундаменте и стальной раме и т.д. Она может быть использована в операциях мобильной дробильной линии, таких как обработка твердых отходов городских зданий, строительство дорог, железных дорог, гидроэнергетических объектов и т.д., преодолевая ограничения маленькой площади.

Для эффективной переработки на месте разрушений используется мобильная дробильная установка серии ZY-3:

- Компактность и мобильность позволяют работать непосредственно на стройплощадках.
- Интегрированная система дробления, сортировки и подачи материалов.
- Гидравлический подъем и независимые опоры обеспечивают устойчивость и удобство эксплуатации.
- Высокая производительность — до 60 тонн в час.
- Возможность переработки материалов размером до 600 мм с получением фракций 0-10 мм и 10-20 мм.



Рисунок 2. Мобильная станция серии ZY-3

Использование таких установок снижает транспортные расходы и ускоряет процесс переработки.

Основное оборудование установки

- **Вибрационный питатель GZD3090:** обеспечивает равномерную подачу материала, снижает энергопотребление.
- **Гидравлическая ударная дробилка P6S150:** высокая производительность и надежность при дроблении.
- **Вибрационный грохот YS1548-2:** эффективная сортировка дробленых материалов по фракциям.

Это оборудование обеспечивает высокое качество переработки и долговечность работы установки. [4].

Экологические и экономические преимущества

Переработка строительных отходов позволяет:

- Сократить объемы захоронения и снизить нагрузку на полигоны.

- Сохранить природные ресурсы за счет повторного использования материалов.
- Снизить затраты на строительство и утилизацию.
- Снизить выбросы загрязняющих веществ и уменьшить экологический ущерб.
- Создать новые рабочие места и развивать экологически ориентированную промышленность. [5].

Выводы: переработка строительных отходов — важный элемент устойчивого развития Донбасса. Восстановление Донбасса после военных действий требует комплексного и технологичного подхода к управлению строительными отходами. Современные методы обнаружения разрушений, эффективные технологии сноса и мобильные установки для переработки отходов позволяют не только ускорить процесс восстановления, но и сделать его экологически безопасным и экономически выгодным.

Развитие систем переработки строительных отходов способствует устойчивому развитию региона, улучшению качества жизни населения и сохранению природных ресурсов.

Перечень ссылок

1. Дрозд Г. Я. (ИСАиЖКХ ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР). Переработка и утилизация разрушенных войной строительных объектов в Донбассе. 2017. С – 111-117.
2. Ширяева Ю.В. Перспективы переработки строительных отходов. С – 81-85.
3. Бибик М.С., Особенности технологии применения продуктов переработки отходов бетона и железобетона в качестве заполнителей в бетонах – 2008. С – 53-55.
4. ZGM Industrial Company One-stop Crushing Expert <https://www.zgmtech.com/>. С – 2-12.
5. Кикава О.Ш. Строительные материалы из отходов производства // Экология и промышленность России. – 1997. С – 37-40.

УДК 622.06

**ВЛИЯНИЕ ШАХТНОГО ВОДООТЛИВА НА
ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Д.В. Нагула, С.М. Мартынова
ГБУ «ДОНГИПРОШАХТ»,
г. Донецк, ДНР

***Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы исследования влияния шахтного водоотлива на формирование химического состава подземных вод*

***Annotation.** The article discusses the issues of studying the effect of mine drainage on the formation of the chemical composition of groundwater*

***Ключевые слова:** шахта, водоотлив, анализ*

***Keywords:** mine, drainage, analysis*

Результаты многолетней деятельности горнодобывающих предприятий в сфере водных ресурсов проявляются в истощении и загрязнении подземных и поверхностных вод за счет преобразования их в шахтные с последующим сбросом их в гидрогеологическую сеть [1].

Основным источником шахтных вод является подземная вода, дренируемая горными выработками. Дополнительным источником может быть фильтрация в виде осадков, а также прорывы поверхностных вод из соседних водоёмов в горные выработки.

Химический состав шахтных вод определяется глубиной ведения горных работ, активностью выщелачивания и окисления минералов горных пород и изменяется как в процессе эксплуатации, так и в ходе ликвидации шахт [1].

Распространение гидрохимических типов вод и областей их формирования зависит от целого ряда геолого-гидрологических факторов, таких как принадлежность площади района к геологической структуре, наличие мощных покровных отложений; углов падения угленосных отложений, интенсивности тектонических нарушений и т.д.

Подземные воды верхних водоносных горизонтов зачастую используются для питьевого водоснабжения, однако они загрязняются тяжелыми металлами в результате деятельности шахт [2].

Цель данной работы – исследование влияния шахтного водоотлива на формирование химического состава подземных вод.

Опыт откачки затопленных шахт Донбасса свидетельствует, что вода, откачиваемая из затопленных выработок, имеет более высокую минерализацию, чем вода общешахтных водосборников тех же шахт. Увеличение минерализации происходит за счет повышения содержания сульфатов, магния и кальция, железа и алюминия [3].

Процесс формирования химического состава поверхностных и подземных шахтных вод весьма сложный и довольно длительный, поэтому он заслуживает более детального изучения.

В ходе проникновения в горные выработки и выработанное пространство шахт поверхностные и подземные природные воды проходят процесс метаморфизации, превращаясь в шахтные воды. В результате обогащения посторонними примесями вода изменяет свой химический и минеральный состав. В шахтной воде накапливаются соли тяжелых металлов, токсичные элементы, бактерии, много взвешенных веществ и т.д.

Выдаваемая на поверхность шахтная вода загрязнена не только мелкодисперсной углеродной смесью (взвешенными веществами, твердыми частицами), но и в значительной степени минеральными солями. Неочищенные шахтные воды, поступая в поверхностные водотоки и водоемы, вызывают в них нарушение солевого режима, обуславливающее нежелательные экологические сдвиги в гидросфере, ухудшают среду обитания животных и растений [4].

При варианте ликвидации шахты с сохранением водоотлива на определенном горизонте или передачей ее водопритока на соседнюю шахту гидрохимическая обстановка практически не изменится. Изменение качества шахтных вод по шахте, которая принимает водоприток смежной закрытой шахты, оцениваются обычно по правилу смешения растворов с различным содержанием.

Рассмотрим более подробно изменение химического состава шахтных вод на примере шахты «Иловайская».

Водоносные горизонты шахты «Иловайская», оказывающие влияние на обводнение горных выработок, приурочены к песчаникам и известнякам карбона. Поступление воды в капитальные горные выработки происходит в виде струй и капежа различной интенсивности из пород кровли. Выдаваемая на поверхность шахтная вода повторно использовалась для нужд предприятия.

На площадках шахты на хозяйственно–питьевые нужды трудящихся (для душевых установок, в прачечной, буфете, для технологических нужд котельной и подпитки тепловой сети) использовалась питьевая вода.

Источником производственно–противопожарного водоснабжения

всех площадок шахты является очищенная и обеззараженная шахтная вода. Расход технической воды в целом по шахте составлял: 766,0 м³/сут. На станции очистки шахтных вод предусматривалось извлечение взвешенных веществ, органических и других соединений. Для обеззараживания шахтной воды применялся гипохлорит натрия.

Полный физико–химический, бактериологический и радиологический контроль за качеством шахтных вод до и после очистки должен осуществляться специализированной лабораторией на договорной основе с периодичностью не менее 1 раза в месяц в соответствии с разработанным графиком.

После очистки часть шахтной воды на площадках шахты использовалась на технологические нужды котельных, техкомплекса, внутреннее и наружное пожаротушение зданий и сооружений поверхности, а также пожаротушение в шахте и орошение горных выработок. Остальная вода в количестве 7514 м³/сут направлялась в существующий пруд–отстойник шахтных вод общей вместимостью 206,4 тыс. м³ и далее по балке Широкой сбрасывалась в реку Крынка [5].

Производственные стоки от котельной и техкомплекса на центральной площадке шахты насосами, установленными в насосной станции производственных стоков, направлялись на станцию очистки шахтных вод для совместной очистки с шахтными водами.

В настоящее время на шахте «Иловайская» добыча полезного ископаемого не производится, предприятие находится в режиме водоотлива.

В связи с этим был произведен анализ качества шахтных вод на изменение химического состава, для выявления возможности их применения в хозяйственно–бытовом водоснабжении. Исследования по химическому составу шахтных вод шахты «Иловайская» проводились за 2013, 2024 г. Центральной геолого-химической лабораторией, ООО «Митталсервис» и Лабораторией контроля качества сточных и поверхностных вод (филиал «Макеевского ПУВКХ»). Результаты лабораторных исследований показали, что содержание средневзвешенных веществ 52 мг/л (при ПДК 15 мг/л), сульфатов 625 мг/л (при ПДК 500 мг/л), азота аммонийного 2,8 мг/л (при ПДК 0,5 мг/л), сухого остатка 2380 мг/л (при ПДК 1000 мг/л) и жесткости общей 12,12 (при ПДК 7,0 мг/л) превышают значения ПДК в разы. Основным фактором негативного воздействия является повышенная минерализация шахтных вод по сравнению с нормативной, разрешенной при сбросе сточных вод в природные объекты (1 г/л).

После очистки, обезжелезивания и обеззараживания, доочистки в

прудах-отстойниках шахты «Иловайская», шахтная вода с содержанием взвешенных веществ до 52 мг/л, минерализацией до 3,0 г/л и железа общего до 0,2 мг/л по балке Широкая поступает в реку Крынка.

Содержание взвешенных веществ, минерализация превышают допустимую норму, содержание железа 0,2 мг/л (при ПДК 0,3 мг/л) в шахтной воде после очистки соответствует действующим нормативным документам на сброс в гидрографическую сеть района. Схема сброса шахтных вод шахты «Иловайская» представлена на рисунке 1.

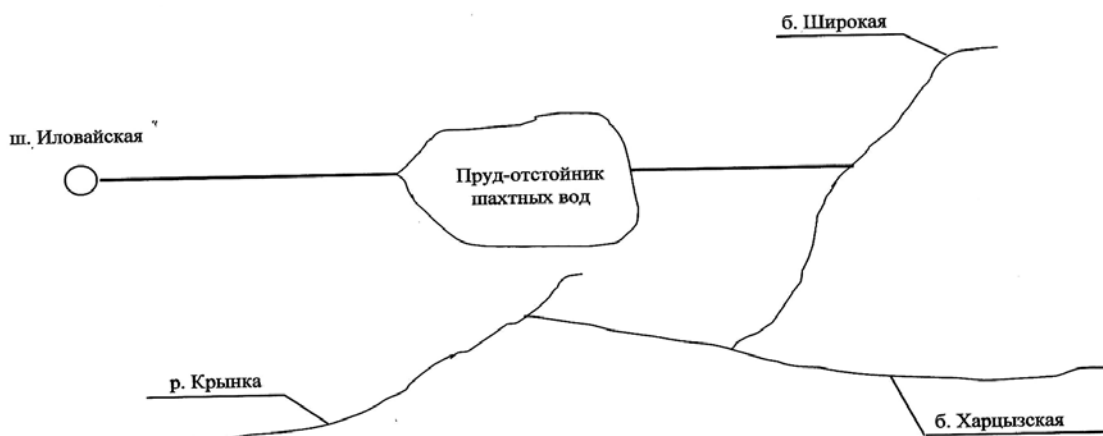


Рисунок 1. Схема сброса шахтных вод шахты «Иловайская» в гидрографическую сеть региона

Шахтные воды в соответствии с действующими стандартами не могут быть рекомендованы как источник питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения. Однако анализ химического и минерального состава, а также требований к качеству воды, необходимой для использования в системах промышленного водоснабжения предприятий, показывает, что шахтные воды после их очистки от взвешенных веществ и кондиционирования (умягчение, стабилизационная обработка) могут быть использованы в качестве источника технического водоснабжения вместо воды питьевого качества.

В целях улучшения качества шахтных вод рекомендовано произвести их доочистку для использования в хозяйственно-бытовом водоснабжении.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что шахта «Иловайская» своей деятельностью, кроме сброса минерализованных вод в реку Крынка, не оказывает отрицательного влияния на

поверхностные и подземные воды.

Перечень ссылок

1. Аннотированный отчет о научно-исследовательской работе / Разработать мероприятия по решению эколого-гидрогеологических проблем, которые возникают в результате закрытия горнодобывающих предприятий, шахт в Донецкой области // Донгипрошахт, 2004. – С 5.
2. Кроик, А.А. Техногенная метаморфизация подземных вод Западного Донбасса под влиянием шахтного водоотлива / А.А. Кроик // Уголь № 7, 2003. – С 32 – 34.
3. Отчет о научно-исследовательской работе / Выполнить научно-исследовательские работы по улучшению экологического состояния шахтерских регионов в процессе реструктуризации угольной промышленности // Донгипрошахт том № 1, 2004. – С 36.
4. Тарасенко, А.С. Экологическая и гидрогеологическая оценка факторов, влияющих на окружающую среду при закрытии шахт Донбасса / А.С. Тарасенко // Сборник География, геоэкология, геология: опыт научных исследований. – Днепропетровск, 2010.
5. Краткие сведения о фактическом состоянии шахты. Технологическая часть / Книга 1 // Донгипрошахт, 2014. – С 219.

УДК 622.28.04

**О ДЕФОРМИРОВАНИИ ГОРНЫХ ПОРОД УКРЕПЛЕННЫХ
ЖЕСТКИМИ АНКЕРАМИ**

А.О. НОВИКОВ

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

Аннотация. В статье представлены сведения, полученные при испытаниях физических моделей прочностью на одноосное сжатие 30-50 МПа, укрепленных жесткими анкерами на растяжение, выполненные на трехосном прессе.

Annotation. The article presents information obtained from testing physical models with a uniaxial compression strength of 30-50 MPa, reinforced with rigid anchors, in tension, performed on a triaxial press.

Ключевые слова: испытания, модель, жесткие анкера

Keywords: tests, model, rigid anchors

Запасов нефти и газа при существующем уровне потребления хватит на 50-70 лет, перспективы разработки месторождений угля, который снабдит энергией человечество на несколько столетий не вызывают сомнений. В Донбассе находятся более 3,0% от всех запасов угля, добыча которого ведется подземным способом. Учитывая возрастающее из года в год усложнение геологических и технических условий добычи и увеличение издержек на добычу, актуальнее становятся задачи по повышению эффективности производства. Перспективным направлением решения этой проблемы является применение анкерных конструкций крепи в подготовительных забоях. Хотя есть большой опыт применения анкерных систем в выработках на угольных шахтах в развитых странах (поддерживается до 90% выработок) в Донбассе они не получили широкого распространения.

Отчасти это связано с тем, что до сих пор не достаточно полно изучено влияние, создаваемых из породы и анкеров несущих конструкций, на механические процессы, идущие во вмещающем выработку породном массиве. Применяемые системы анкерного крепления устанавливаются для предотвращения разрушений в массиве. Так, не учитывается, что со временем и при ведении горных работ возведенные в выработках на породных обнажениях анкера разрушаются (достигают предельного состояния) и продолжают (запредельно) деформироваться и устойчивость их не всегда можно

достоверно спрогнозировать. В этой связи, исследование процессов деформирования массивов, в которых для устойчивости выработок возводят анкерные системы является актуальной задачей, решение которой обеспечит рост эффективности и безопасность работ.

Задача исследований — изучение деформирования пород, укрепленных анкерами при разгрузке, в условиях обобщенного растяжения.

Изложение материала и результатов. Исследования выполнялись на трехосном прессе в ФБГУ «ИФГП». Модель — куб с ребром 55 мм из цементно-песчаной смеси с четырьмя жесткими анкерами, расположенными по 6 схемам. Объем в натуре — 1 м³. Его прочность на одноосное сжатие от 30 до 50 МПа. Для сравнения результатов изготавливались и модели без анкеров. В модели создавалось равнокомпонентное поле напряжений (глубина 800 - 1600 м). Затем, в направлении действия напряжений σ_3 выполнялась разгрузка, а другие компоненты напряжений σ_1 и σ_2 поддерживались.

По результатам испытаний строились диаграммы «напряжение-деформация», изменения объемных деформаций от напряжений σ_3 , графики коэффициента поперечных деформаций от напряжений σ_3 , отношения энергии формоизменения к полной энергии деформирования от напряжений σ_3 , главных напряжений σ_1 от напряжений σ_3 , модуля объемной деформации от напряжений σ_3 .

Установлено, что предельное состояние в моделях достигалось при разгрузке на 59-89 % (для моделей без анкеров — при 37%). Величина разрушающих нормальных напряжений в моделях с анкерами в 3,5 раза, а максимальных касательных напряжений — в 3,6 раза выше, чем в моделях без анкеров.

Предельные относительные деформации в моделях, в зависимости от схемы расположения анкеров, до 2,1 раза больше, чем для моделей без анкеров. Дилатансия усиленных анкерами моделей на 9÷40 % меньше, чем для моделей без анкеров.

Отношение значений энергии формоизменения к вариации энергии изменения объема для моделей при их разрушении увеличивается в 18,7 раза, по сравнению с моделями без анкеров, что свидетельствует об увеличении энергоемкости процесса.

Значения коэффициентов поперечной деформации для моделей с анкерами и без них существенно не меняются: 0,48 и 0,46 соответственно. Происходит хрупкое разрушение. Для моделей без анкеров коэффициент поперечной деформации не менялся вплоть до завершения разгрузки ($\sigma_3=0$), а для моделей с анкерами он возрастал до значений от 0,99 до 1,6 (квази-пластическое деформирование).

Для моделей без анкеров деформирование шло из-за постепенного накопления трещин отрыва. Возникали трещины сложного сдвига, что повышало степень дилатансии. Для моделей с анкерами, при разгрузке возрастает доля пластических деформаций. Процесс протекает до момента полной разгрузки. Остаточные деформации в направлении разгрузки в моделях с анкерами до 1,7 раза больше, чем для моделей без анкеров. Наличие анкеров на 70% уменьшает изменение объема после разрушения по сравнению с моделями без анкеров.

Деформирование после разрушения в моделях с анкерами происходит в области растяжения со сдвигом. По мере разгрузки уменьшается прочность моделей. Несмотря на одинаковый градиент снижения напряжений σ_1 при уменьшении напряжений σ_3 для моделей с анкерами и без, остаточная прочность первых от 3,1 до 4,5 раз больше, чем для вторых. Так, максимальное значение остаточной прочности для модели с анкерами — 0,81, при этом, остаточные нормальные и касательные напряжения - в 5 раз больше, чем для моделей без анкеров.

При разгрузке после разрушения, в моделях с анкерами быстрее снижаются значения модуля объемной деформации, что характеризует увеличение их жесткости. Остаточные значения модуля объемной деформации для укрепленных анкерами моделей до 8,4 раза больше.

В моделях с анкерами после их разрушения, деформации сопровождаются развитием трещин отрыва с минимальным разрыхлением, при этом, остаточная прочность снижается медленнее. Эти результаты хорошо согласуются с работой [1].

Разгрузка моделей с анкерами, после разрушения, сопровождается переходом от хрупкого к более вязкому (квазипластическому) деформированию, причем модуль спада уменьшается быстрее по сравнению с моделями без анкеров. При растущих деформациях, проявляющихся после разрушения, сохраняется высокая остаточная прочность, как для пластичных пород. Величины модуля спада в моделях с анкерами в 4,0 раза меньше, а деформации в сторону разгрузки ϵ_3 до 65 % выше, чем для моделей без анкеров.

Этот эффект сильнее выражен для менее прочных пород (30 МПа) и уменьшается по мере увеличения их прочности.

Наличие анкеров в моделях изменило механизм их разрушения. При разгрузке, под углами до 30 град. к плоскости разгрузки, образуются плоскости разрушения, по которым оно происходит в виде отрывом со сдвигом или отрыва.

После разрушения, возрастает коэффициент поперечной деформации до величин 0,7 — 2,2, снижаются значения модуля

деформации и модуля сдвига до 2,2 раз, причем их остаточные значения до 22 раза выше, чем для моделей без анкеров. Увеличивается значение модуля сдвига до 7 раз по сравнению с предельным значением, что свидетельствует о повышении сопротивления действию сдвиговых нагрузок за счет наклоненных к плоскости разгрузки анкеров. Остаточные значения нормальных и касательных напряжений и остаточная прочность до 5 раз выше, чем у моделей без анкеров и составляет от 0,31 до 0,85. Остаточные деформации моделей с анкерами в сторону разгрузки составляют до 0,23 (более чем в 2,5 раза больше, чем для моделей без анкеров).

Выводы. При установке в моделях жестких анкеров по различным схемам изменяются величины параметров, характеризующих их структурно-механические и деформационные свойства, что позволяет эффективно сопротивляться процессам разрушения, создает предпосылки для управления процессами деформирования и разрушения пород.

Перечень ссылок

1. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений./ Алексеев А.Д., Ревва В.Н., Рязанцев Н.А. – Киев: Наукова думка, 1989. – 168с.

УДК 622.268.6

**ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И
НАПРАВЛЕНИЯ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ**

Новиков А.О., Торченко Н.С.

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

***Аннотация.** При строительстве и эксплуатации подземных месторождений, вопросы, связанные с выбором рациональной технологии ремонта горных выработок, были и остаются актуальными. Достаточно сказать, что до 50% себестоимости добываемого угля составляют затраты на ремонт, а стоимость его выполнения достигает 130% от стоимости проведения новой выработки, достигая 150 тыс.руб./м. В статье описаны существующие и перспективные технологии ведения ремонтных работ. На основе тенденций развития горного производства изложены возможные, по – мнению авторов, направления проведения исследований для совершенствования технологий ремонта.*

***Annotation.** During the construction and operation of underground deposits, issues related to the choice of a rational mining repair technology have been and remain relevant. Suffice it to say that up to 50% of the cost of coal produced is repair costs, and the cost of its implementation reaches 130% of the cost of new production, reaching 150 thousand rubles / m. The article describes the existing and promising technologies of repair work. Based on the trends in the development of mining, the possible directions of research for improving repair technologies are outlined.*

***Ключевые слова:** выработка, горные породы, деформации, крепь, технология, ремонт.*

***Keywords:** mining, rocks, deformations, supports, technology, repair.*

Введение. Развитие угольной промышленности в Донбассе связано с проведением до 12м выработок на каждые 1000т добычи при усложняющихся горно-геологических условиях. В тоже время, как показывают результаты обследования состояния поддерживаемых горных выработок, до 30% из них находятся в не удовлетворительном состоянии и нуждаются в ремонте. В ближайшие годы ремонт и перекрепление выработок, как способ их поддержания останутся одними из основных участков производственной деятельности шахт. Учитывая, что послеремонтная устойчивость выработок в значительной степени зависит от своевременности выполнения и

совершенства технологии ведения работ, проведение исследований по разработке новых и совершенствованию существующих технологий ремонта является актуальной научной задачей.

Цель исследований — на основе анализа существующих технологий ремонта и тенденций их развития, сформулировать возможные направления исследований их совершенствования для обеспечения длительной устойчивости выработок.

Состояние вопроса. Последние 40 лет, на угольных предприятиях, расположенных в странах СНГ большое внимание уделялось совершенствованию и стандартизации технологий ремонта. Были разработаны и внедрены системы оборудования, механизмирующие отдельные выполняемые при этом технологические процессы, делающие их более безопасными. Это особенно важно по той причине, что до 35% от общего количества несчастных случаев происходит при выполнении работ по ремонту. Применяемые на шахтах технологии ведения ремонтных работ в выработках весьма консервативны, не позволяют комплексно решить вопросы, связанные с разработкой и внедрением инновационных технологий ремонта, обеспечивающих длительное устойчивое состояние выработок и являются обобщением многолетнего опыта их ведения, который обобщен в виде типовых технологических схем или стандартов, являющихся составной частью действующих нормативных документов [1].

Перекрепление выработок представляет собой совокупность целого ряда технологических процессов, выполняемых как правило последовательно, включающих подготовительные работы; возведение усиливающей крепи; выполнение мероприятий, исключающих излишний выпуск породы; «разрезку выработки»; расширение до проектных размеров; возведение временной крепи; уборку и погрузку породы; установку «новой» и демонтаж «старой» крепи; заполнение пустот за крепью; заключительные работы. Комплексно все выше перечисленные процессы ни в одной из существующих технологий ремонта с точки зрения обеспечения после ремонтной устойчивости выработки, технологичности, механизации процессов и обеспечения безопасности работ до сих пор не решены.

Большой производственный опыт накоплен при использовании технологии ремонта, базирующейся на использовании инъекционного упрочнения пород [2]. На шахтах в развитых угледобывающих странах внедрены различные системы, механизмирующие отдельные технологические процессы при ремонте. Так, фирмы «Э. Хайткамп» и «КБИ Клекнерт-Бекорит индустриетехник» (ФРГ) разработали

передвижную крепь для защиты рабочих на участках подрывки и расширения выработок до проектных размеров. На шахте «Остенфельд» (ФРГ), совместно с фирмой «Вестфалия Люнен» была внедрена механизированная система «Остенфельд», предназначенная для механизации перекрепления выработок большого сечения. Аналогичные разработки выполнены в институте «ЦНИИподземмаш» (РФ). Положительный опыт накоплен при использовании многостадийной технологии раскрытия выработок большого пролета в малопрочных скальных породах (КНР)[3]. К сожалению, выше описанные технологии на угольных шахтах широкого распространения не получили.

Целый ряд технологий, направленных на исключение излишнего выпуска породы был разработан сотрудниками кафедр «Горная геомеханика» и «Разработка месторождений полезных ископаемых» ДОННТУ. Среди них: использование направленного укрепления смолами и цементно-песчаными растворами при подготовке к расширению выработки до проектных размеров; создание предварительного распора механическим способом на проектном контуре расширяемой выработки до его обнажения; создание во вмещающем ремонтируемые выработки массиве грузо-несущих конструкций из разрушенных пород с помощью их распора не взрывчатыми разрушающими веществами; укрепление пород за проектным контуром ремонтируемой выработки трубчатыми, взрывораспорными анкерами и т.д.[4].

Основные результаты.

Выполненный анализ работ, посвященных разработке и совершенствованию технологий ремонта горных выработок, позволил сформулировать предложения по направлениям проведения исследований для достижения поставленной в работе цели:

1. Для совершенствования технологии ремонта необходимо проведение длительных (5 и более лет) шахтных натурных наблюдений (с установкой датчиков давления и деформаций во вмещающий массив в процессе подготовки и выполнения ремонта; использованием дронов, лазерного сканирования и автономных устройств для контроля за состоянием выработок и пород на труднодоступных участках). Это позволит установить новые закономерности деформирования вмещающего выработки массива, позволяющие при их воплощении в новых технологиях обеспечить послеремонтную устойчивость выработок.

2. Продолжить разработку математических моделей, описывающих деформирование и разрушение пород на контуре выработки и

вмещающем массиве с учетом изменения динамики проявлений горного давления при ведении работ на больших глубинах.

3. Для снижения вредного влияния выполнения ремонта на смежные участки выработки и вмещающий массив необходимо оптимизировать параметры устанавливаемых в подготовительный период усиливающих крепей, предварительно изучив его влияние на смещения контура выработки для разных типов пород. В качестве альтернативных технологий пред ремонтного усиления крепи продолжить исследования по использованию новых само расширяющихся материалов и связующих составов (например, на основе геополимеров).

4. Совершенствовать технологий предварительного инъекционного упрочнения (в том числе с применением вакуумирования для направленного распределения укрепляющих растворов, минимизируя их расход) до начала ремонта с учетом влияния параметров нагнетания (давление, скорость подачи, геометрия шпуров) на проникающую способность составов с целью формирования локально укрепленных зон.

5. Разрабатывать гибридные технологии усиления массива, сочетающие химическое упрочнение с механическим креплением (анкерами, сетками), а также методы временной фиксации пород вокруг выработок при их расширении, не допускающие обрушений внутрь рабочего пространства (например, модернизация забивных шильев с использованием композитных материалов).

6. Для повышения послеремонтной устойчивости выработок выполнить оптимизацию материалов для заполнения полостей, образующихся после ремонта: сравнительный анализ эффективности различных материалов (например, полимерных композитов, геопены, бетонов с улучшенными свойствами) в зависимости от геомеханических условий ведения работ; исследование влияния характеристик укрепляющего материала (прочность, упругость, устойчивость к деформациям) на длительную устойчивость выработок; разработка комбинированных технологий заполнения пустот путем сочетания анкерных систем и новых материалов для последующего заполнения пустот).

7. Для уменьшения вредного влияния ремонта на состояние вмещающего массива разработать технологии расширения деформированных выработок без выемки пород на контуре путем создания статического распора на основе установленных закономерностей и зависимостей между величиной распора, геометрией выработки и свойствами пород (в том числе применение

динамического изменения распора в зависимости от стадии деформации массива).

Перечень ссылок

1. СТП 58.07.000-84. Перекрепление выработки. / ПО «Донецкуголь» - Донецк, 1984.- 20с.

2. Руководство по выбору способов и технологии перекрепления выработок, обеспечивающих их устойчивость в условиях шахт ПО «Донецкуголь» / Ю.З. Заславский, А.Г. Файвишенко, В.В. Ковшов, Н.А. Вострецов и др. / НПП «Прогресс». – Донецк, 1993. – 44 с.

3. Шэнь Цяофэн, Фролов Ю.С. Решение геомеханических задач при стадийной технологии раскрытия выработок большого пролета в малопрочных скальных грунтах // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №3, <https://t-s.today/PDF/14SATS319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI:10.15862/14SATS319

4. Технология ремонта и погашения горных выработок [Электронный ресурс]: Учебное пособие для студентов горных специальностей высших учебных заведений. / А.О. Новиков, И.Н. Шестопапов.– 11,8 Мб.- Донецк: ДонНТУ, 2016. – 1 файл.- Систем. требования: Acrobat Reader.<http://ed.donntu.org/books/20/cd9696.pdf> UDC 622.281

Novikov A.O., Turchenko N.S.

MINING REPAIR TECHNOLOGIES AND WAYS TO IMPROVE THEM

УДК 622.281.742

КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ ШАХТ

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

Аннотация. На основании обработки результатов лабораторных исследований на моделях из эквивалентных материалов установлены особенности формирования нагрузки на крепь горных выработок. Идея способа состоит в совмещении разгрузки вмещающего выработку массива от повышенных напряжений с процессом крепления. Это позволяет использовать несущую способность породного массива и снизить материальные и трудовые затраты на проведение и поддержание горных выработок.

Annotation. Based on the processing of laboratory research on models made of equivalent materials, the peculiarities of the load formation on the support of mine roadway have been established. The idea of the method is to combine unloading of the array containing the output from increased stresses with the fastening process. This makes it possible to use the bearing capacity of the rock mass and reduce the material and labor costs of conducting and maintaining mine roadway.

Ключевые слова: горная выработка, анкер, разгрузка, эквивалентные материалы, зона разрушенных пород, критерий подобия.

Keywords: mine roadway, anchor, unloading, equivalent materials, zone of destroyed rocks, similarity criterion.

В настоящее время горные выработки глубоких шахтах Донбасса крепятся в основном металлической арочной податливой крепью, которая практически исчерпала свои возможности, так как не соответствует реальным условиям нагружения и часто деформируется.

Как система крепления, арочная крепь имеет ряд недостатков. Фактически, она не поддерживает выработку до тех пор, пока вмещающие породы не разрушатся и не начнут смещаться в выработку, нагружая рамы крепи. То есть, крепь работает в пассивном режиме и не препятствует разрушению вмещающего массива. Кроме этого, основными недостатками арочной крепи являются: большая металлоемкость; невозможность полной механизации процесса крепления; забутовка закрепного пространства и затяжка рам производятся вручную; крепь не включается в работу сразу после

обнажения проектного контура выработки; нет соосности между направлениями податливости крепи и наибольших смещений контура выработки; традиционная конструкция арочной крепи не соответствует условиям ее нагружения.

Проведенные исследования и опыт поддержания выработок показывают, что обеспечить их нормальное эксплуатационное состояние в течение всего срока службы можно лишь путем использования несущей способности породного массива, вмещающего выработки.

Все это требует применения нетрадиционных видов крепи, которые бы обладали значительной несущей способностью, низкой материалоемкостью и трудоемкостью возведения, поддавались бы высокой степени механизации, а также активно воздействовали на напряженно-деформированное состояние вмещающего массива с целью вовлечения его в совместную работу.

С учетом вышеизложенных требований, ДонНТУ был предложен способ поддержания выработок «крепь-охрана» [1].

Идея способа состоит в совмещении разгрузки вмещающего выработку массива от повышенных напряжений с процессом крепления. Это позволяет использовать несущую способность породного массива и снизить материальные и трудовые затраты на проведение и поддержание горных выработок.

Сущность способа (рис. 1) заключается в образовании вокруг выработки, на заданном удалении от ее контура, зоны пониженных напряжений путем взрывания камуфлетных зарядов ВВ в трубчатых анкерах. При этом энергия взрыва расходуется на образование зоны разгрузки и развальцовывание анкеров в шпурах. Ненарушенный приконтурный массив, усиленный анкерами, выполняет роль крепи.

Для оценки эффективности предлагаемого способа были выполнены лабораторные исследования на моделях из эквивалентных материалов.

Моделировались вмещающие выработку породы с прочностью на одноосное сжатие 60 МПа. Для моделирования горных пород в качестве эквивалентного материала был принят кварцевый песок с парафиновым связующим. Подбор прочностных характеристик материала моделей и порядок их отработки выполнялся в соответствии с методикой [2].

С целью получения зависимости величин смещения реперов, заложенных вокруг выработок в моделях из эквивалентных материалов, был использован масштаб времени. Так как более половины смещений пород вокруг выработок (более 60% от величины

конечных смещений) происходит в результате их разрушения [3], то масштаб времени необходимо определять, основываясь на соотношении времени разрушения пород и эквивалентного материала.

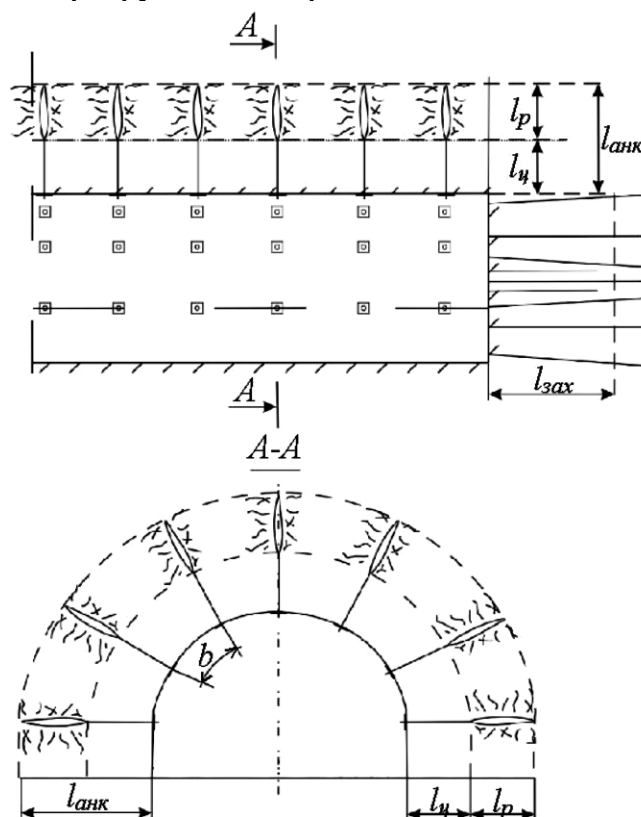


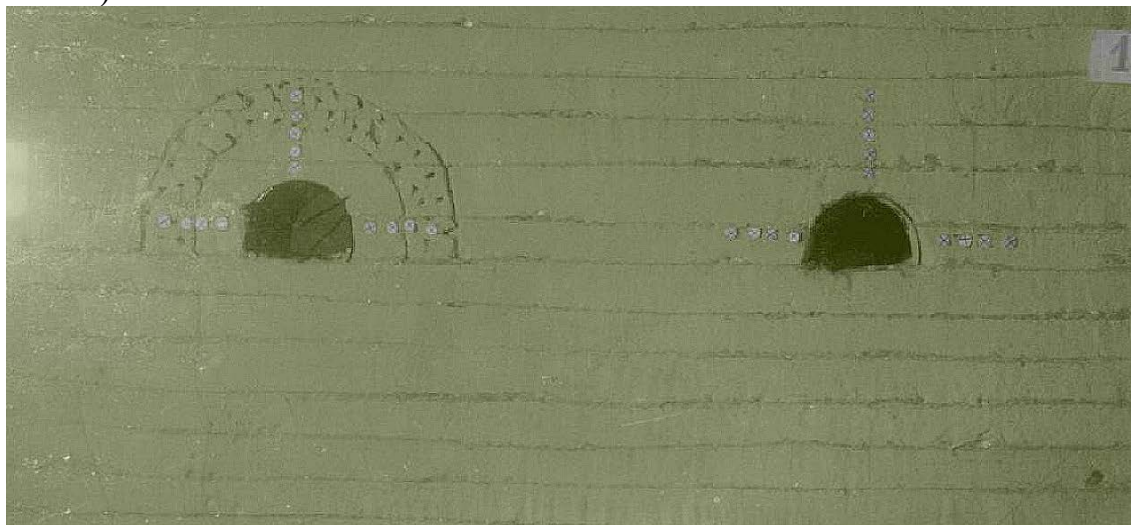
Рисунок 1 – Схема проведения выработки при применении способа «крепь-охрана»: $l_{ц}$ – размера целика; l_p – ширина нарушенной зоны; $l_{анк}$ – длина анкера; $l_{зах}$ – длина заходки; b – расстояние между анкерами.

С целью получения эмпирической зависимости смещений контура выработки от исследуемых факторов при минимальном числе опытов была использована методика рационального планирования эксперимента [4] с учетом масштаба времени, предложенном в работе [5]. Смещения вмещающих выработку пород в модели определялись методом фотофиксации, а давление – с помощью датчиков сопротивления, фиксированные точки в модели представляют собой игольчатые репера, изготовленные из стальной проволоки.

Исследования проводились в масштабе 1:100. Моделировались две выработки на расстоянии 260 мм, исключая их взаимное влияние. В течение времени отработки модели пригруз оставался постоянным, что имитировало глубину 800 м. Проведение одной выработки осуществлялось с применением способа «крепь-охрана», то есть одновременно с проведением выработки на расстоянии от контура

равном размеру целика, создавалась зона разрушенных пород требуемого размера. Вторая выработка такого же размера проводилась обычным способом. Состояние выработок в модели № 1 в начальной стадии и после испытаний показано на рисунке 2.

а)



б)

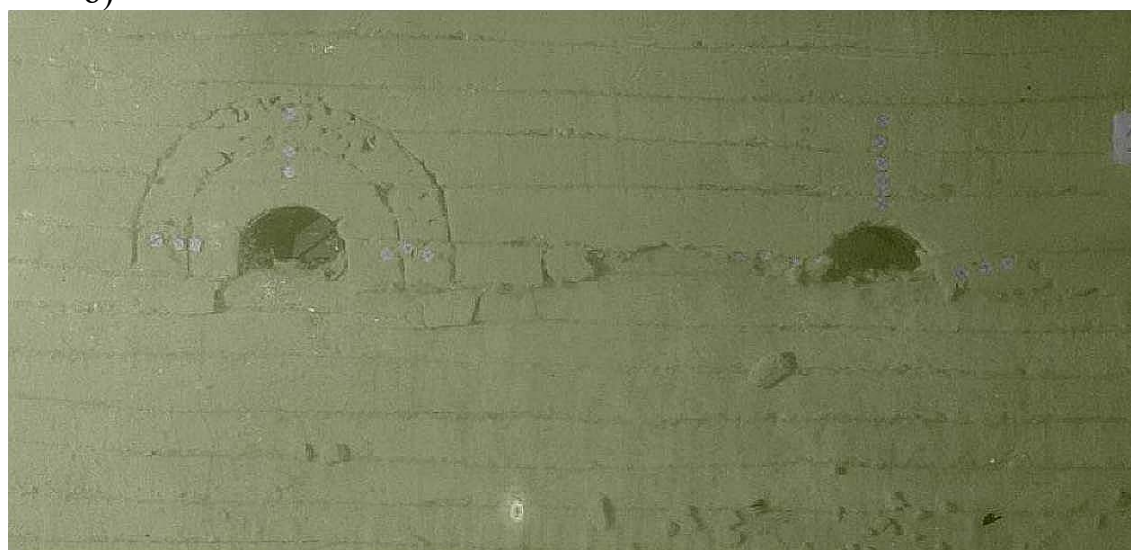


Рисунок 2 – Состояние выработок в модели № 1: а – в начальной стадии и б – после испытаний.

В результате расчета получали величину смещений реперов в модели и натуре, которые обрабатывались на компьютере по типовой программе Excel [6]. Оценка эффективности предлагаемого способа «крепь-охрана» осуществлялась по результатам сравнения величин смещений контурных и глубинных реперов, изображенных на графиках

для выработки со способом и без него. Графики смещений контурных и глубинных реперов вокруг выработок изображены на рисунке 3.

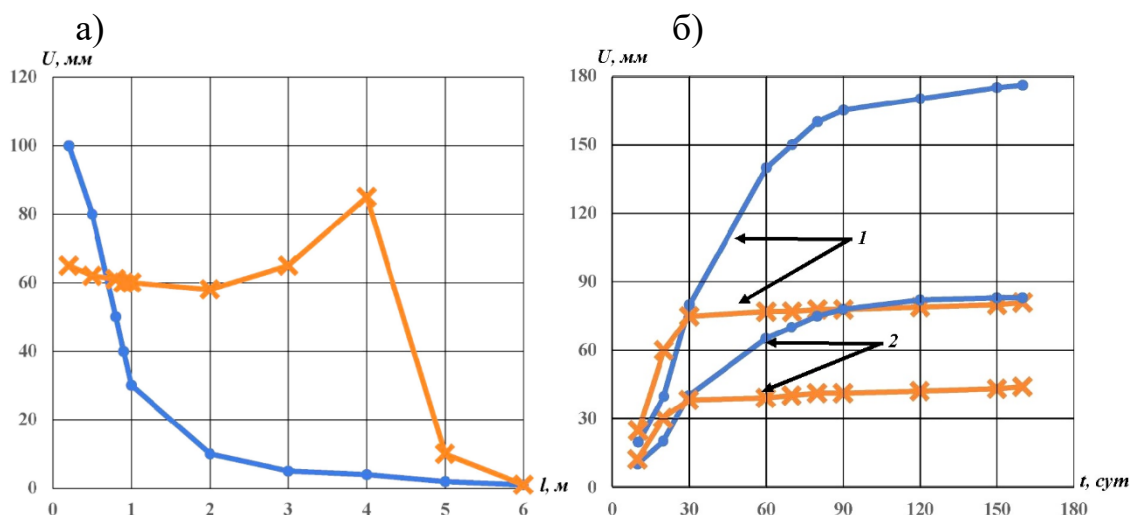


Рисунок 3 – Графики смещений: а – глубинных реперов в кровле; б – контурных реперов в кровле (1) и боках (2) выработок в модели:

— в выработке, пройденной обычным способом;

— в выработке, пройденной с применением способа «крепь-охрана».

В результате обработки полученных данных получена зависимость устойчивости выработки от основных параметров способа «крепь-охрана»:

$$U = \frac{65}{\ell_{\text{ц}}^3} + 20(\ell_{\text{ц}} - 1) + \frac{120}{\ell_{\text{р}}} - 21, \text{ мм}$$

Проведенные лабораторные исследования на моделях из эквивалентных материалов для моделируемых горно-геологических условий позволяют заключить следующее:

- оптимальным размером целика является 1,5-2 м. Отклонение от оптимальных размеров целика в одну или другую сторону приводит к росту смещений контура выработки;

- оптимальным размером зоны разрушенных пород является 0,5-1 м. С увеличением размера зоны разрушенных пород устойчивость выработки повышается;

- установлено, что применение способа «крепь-охрана» позволяет снизить смещения контура в 2-3 раза по сравнению с выработкой, сооружаемой обычным способом;

- образуемая одновременно с проведением выработки зона разрушенных пород способствует более быстрому (ускоряет в 2-3 раза)

и равномерному образованию вокруг выработки ЗНД, которая совместно с породным целиком и крепью воспринимает горное давление. При этом разрушения контура не происходит, так как максимальные напряжения переносятся вглубь массива;

– с применением способа «крепь-охрана» смещения пород в массиве, вмещающем выработку, реализуется за счет смыкания трещин по периметру выработки и снижения коэффициента разрыхления (по сравнению с первоначальным) в зоне разрушенных пород.

Проведенные эксперименты свидетельствуют о технической возможности реализации способа поддержания «крепь-охрана», но для уточнения его параметров (веса заряда, размеров породного целика, зоны разгруженных пород) требуются дополнительные исследования.

Перечень ссылок

1. Усовершенствование способов поддержания выработок глубоких шахт на основе инновационных технологических решений : отчет о НИР : Н-10-18 / Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет» ; ГОУВПО «ДонНТУ» ; рук. Петренко Ю.А. ; исполн.: Касьяненко А.Л. [и др.]. Донецк, 2020. 238 с. Инв. № О0009879.
2. Моделирование в геомеханике / Ф.П. Глушихин, Г.Н. Кузнецов, М.Ф. Шклярский и др. М.: Недра, 1991. - 239 с.
3. Повышение устойчивости подготовительных выработок угольных шахт // Заславский И.Ю., Компанец В.Ф., Файвишенко А.Г., и др. М.: Недра, 1991. - 233 с.
4. Протодяконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов. М.: Наука, 1970.- 73 с.
5. Касьян Н.Н., Костоманов А.И. Способ определения масштаба времени при моделировании процессов разрушения //Разраб. месторождений полезн. ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб., 1985. - № 72. - С. 62-64.
6. Кильдишов В.Д. Использование приложения MS Excel для моделирования различных задач. – М.: СОЛОН–ПРЕСС, 2015. - 161 с.

УДК 621.565.53

ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В БУРОВЫХ ГАЛЕРЕЯХ НЕФТЯНЫХ ШАХТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ

Е.В. Подвигина (научный руководитель)

К.А. Подвигин (доцент)

ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»,
г. Череповец

В.В. Захарова (ассистент)

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»,
ДНР, г. Донецк

Аннотация: Статья посвящена разработке комплексной математической модели теплообмена в воздухоохлаждающей установке с ледяными аккумуляторами, предназначенной для нормализации микроклимата в подземных буровых галереях нефтяных шахт. Модель учитывает ключевые физические процессы: нестационарный теплообмен между воздухом и льдом, фазовые переходы (плавление льда с использованием уравнения Стефана), конденсацию и испарение влаги, турбулентность потока (через числа Рейнольдса и Прандтля), а также теплопотери через стенки с деградацией изоляции. Впервые интегрированы факторы, характерные для реальных условий эксплуатации: вибрации, генерирующие дополнительное тепло, и примеси (метан, пыль), влияющие на плотность воздуха.

Уравнения энергии и влажностного баланса дополнены зависимостями теплофизических свойств материалов от температуры, включая эффективную теплопроводность пористого льда. Разработана система управления на базе ПИД-регулятора для динамической регулировки скорости вентилятора, минимизирующей энергозатраты. Экономическая оптимизация формализована через целевую функцию, учитывающую стоимость льда и электроэнергии.

Abstract: The article presents the development of a comprehensive mathematical model of heat exchange in an air-cooling unit with ice accumulators, designed to normalize the microclimate in underground drilling galleries of oil mines. The model accounts for key physical processes: unsteady heat transfer between air and ice, phase transitions (ice melting using the Stefan equation), moisture condensation and evaporation, flow turbulence (via Reynolds and Prandtl numbers), and heat losses through walls with insulation degradation. For the first time, factors specific to real-world operational conditions are integrated, including vibrations

generating additional heat and impurities (methane, dust) affecting air density.

The energy and moisture balance equations are supplemented with temperature-dependent thermophysical properties of materials, including the effective thermal conductivity of porous ice. A control system based on a PID controller is developed for dynamic adjustment of fan speed to minimize energy consumption. Economic optimization is formalized through a cost function accounting for ice and electricity expenses.

Ключевые слова: микроклимат, ледяные аккумуляторы, уравнение Стефана, теплопотери, ПИД-регулятор, энергоэффективность.

Key words: microclimate, ice accumulators, Stefan equation, heat losses, PID controller, energy efficiency.

Введение. Подземная добыча нефти сопряжена с экстремальными тепловыми условиями в буровых галереях, где температура нередко превышает 40 °С из-за искусственного нагрева нефтеносного пласта и работы оборудования. Это создает риски для здоровья персонала, увеличивает вероятность аварий и снижает эффективность ремонтных работ. Существующие системы вентиляции зачастую не справляются с нормализацией микроклимата, особенно в глубоких шахтах. Цель исследования — разработка энергоэффективной методики охлаждения на основе математического моделирования теплообмена с использованием аккумуляторов холода. Научная новизна заключается в установлении аналитических зависимостей между параметрами охлажденной воздушной струи (скорость, диаметр сопла, температура) и зоной ее эффективного воздействия.

Объектом исследования являются буровые галереи нефтяных шахт, эксплуатируемые в условиях подземной добычи нефти, в период проведения ремонтных работ. Эти выработки характеризуются:

1. Глубиной залегания (до 1,5–2 км), где геотермальный градиент обуславливает температуру окружающих пород до 40–50°С.
2. Наличием тепловыделяющего оборудования (буровые установки, насосы), повышающего температуру воздуха до 45–55°С.
3. Ограниченным воздухообменом из-за сложной конфигурации галерей, приводящим к застою нагретых и запыленных воздушных масс.
4. Повышенной влажностью (до 85–90%) вследствие конденсации паров и технологических процессов.

Особое внимание уделяется системам охлаждения, включая аккумуляторы холода, расположенные в теплообменных камерах воздухоохлаждающей установки, их взаимодействие с шахтным воздухом, а также параметрам воздушных струй (скорость, температура, площадь сечения). Изучается динамика теплообмена

между охлажденными потоками и тепловыделяющими объектами в условиях ограниченного пространства.

Целью исследования: разработка и верификация математической модели для оптимизации параметров систем охлаждения (скорость воздушного потока, диаметр сопла, температура струи) в буровых галереях нефтяных шахт, обеспечивающей снижение температуры в зоне ремонтных работ до нормативных $\leq 299,15$ К (26 °С) при минимальных энергозатратах.

Методы исследования:

1. Математическое моделирование: разработана система дифференциальных уравнений, описывающих теплообмен между шахтным воздухом и аккумуляторами холода. Учтены параметры воздушных потоков (скорость, температура), геометрия галерей, тепловыделение оборудования.

2. Численные расчеты: методом конечных элементов в ANSYS Fluent проведено аэродинамическое моделирование распределения охлажденных струй при вариации диаметра сопла (0.2–0.8 м) и скорости потока (0.5–3 м/с).

3. Аналитические зависимости: получены формулы, связывающие дальность подачи струи с её начальной температурой (275–285 К) и скоростью, а также площадь сечения с энергопотреблением установки.

4. Экономический анализ: оценка энергоэффективности проведена через сравнение затрат на внедрение системы с экономией от сокращения простоев.

Результаты исследования.

В настоящее время работы на нефтяных шахтах в основном ведутся с использованием технологии нагрева горной массы, благодаря которой температура горных пород достигает 323,15 К, при этом в технологическом процессе используются силовые агрегаты, создающие искусственные тепловые потоки. Кроме того, на тепловой режим шахт сильное влияние оказывают нефтесодержащие продукты с температурой до 363,15 К, транспортируемые в открытых желобах, шахтные воды и теплопоступления из выработанного пространства. Так, сегодня температура воздуха в горных выработках достигает 318,15 К и более, что существенно превышает установленные значения.

Анализ применяемых технических устройств и способов кондиционирования шахтного воздуха показал, что возможности использования специального льда в качестве энергоносителя в системах воздушного охлаждения еще не полностью исчерпан и позволяет находить новые технические решения и направления по нормализации температурного режима при ремонтных работах в выработках нефтяных шахт. С целью обоснования параметров установки разработана математическая модель процессов теплообмена

охлаждаемого воздуха при контакте с аккумуляторами холода, размещенными в теплообменных камерах.

Основные допущения:

1. Воздух:

- Несжимаемый, но его плотность (ρ_{air}) и теплоёмкость ($c_{p,air}$) зависят от температуры и влажности.
- Турбулентность потока описывается числами Рейнольдса (Re) и Прандтля (Pr).

2. Ледяные аккумуляторы:

- Распределены равномерно в три слоя, но имеют пористую структуру с коэффициентом пористости ϕ .
- Фазовый переход льда в воду моделируется уравнением Стефана с подвижной границей плавления.

3. Теплопотери:

- Коэффициент теплопередачи стенок установки $U(T, t)$ зависит от температуры и времени (старение изоляции).

4. Внешние факторы:

- Вибрации шахты генерируют дополнительное тепло за счет трения.
- Влияние примесей (метан, пыль) на плотность воздуха.

5. Система управления:

- Регулирование скорости вентилятора осуществляется ПИД-регулятором.

6. Экономика:

- Учтена стоимость льда и энергии для оптимизации работы установки.

Уравнения для воздуха. Уравнение энергии:

$$\rho_{air}(T) \cdot c_{p,air}(T) \cdot \left(\frac{\partial T_{air,k}}{\partial t} + v \frac{\partial T_{air,k}}{\partial x} \right) = \lambda_{air}(T) \cdot \frac{\partial^2 T_{air,k}}{\partial x^2} + \frac{h_k \cdot A_{eff,k}}{V_{air,k}} (T_{ice,k} - T_{air,k}) + U(T, t) \cdot A_{wall,k} \cdot (T_{ext} - T_{air,k}) + L_w (\dot{m}_{cond} - \dot{m}_{evap}) + Q_{vib}, \quad (1)$$

где: $T_{air,k}(x, t)$ – температура воздуха в k – й камере;

$\rho_{air}(T) = \frac{P_{atm}}{R_{air}T}$ – плотность воздуха (уравнение состояния идеального газа);

$\lambda_{air}(T)$ – теплопроводность воздуха;

$c_{p,air}(T)$ – теплоёмкость воздуха;

$h_k = \frac{N_u \cdot \lambda_{air}}{D_h}$ – коэффициент теплоотдачи, где $N_u = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4}$;

$A_{wall,k} = N_k \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot \left(1 - \frac{D}{\Delta x}\right)$ – эффективная площадь теплообмена с учётом геометрии сосудов;

$L_w = 2260$ кДж/кг – скрытая теплота конденсации/испарения;

$\dot{m}_{cond} = \beta(\omega - \omega_{sat}(T))$ – массовый расход конденсата;

$\dot{m}_{evap} = k_{evap}(P_{sat}(T) - P_{vapor})$ – массовый расход испарения;

$Q_{vib} = \mu \cdot F_{norm} \cdot v_{vib}$ – тепловая мощность от вибраций.

Уравнение влажностного баланса:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + v \frac{\partial \omega}{\partial x} = - \frac{\dot{m}_{cond} - \dot{m}_{evap}}{\rho_{air}}, \quad (2)$$

где: ω – влагосодержание воздуха;

$\omega_{sat}(T) = \frac{0.622 \cdot P_{sat}(T)}{P_{atm} - P_{sat}(T)}$ – влагосодержание при насыщении;

$P_{sat}(T) = 610,78 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot T}{237,3 \cdot T + 273,15}}$ Па – давление насыщенного пара.

Уравнения для льда. Теплопроводность с учётом пористости:

$$\rho_{ice} \cdot c_{ice} \cdot \frac{\partial T_{ice,k,i}}{\partial t} = \lambda_{eff} \cdot \nabla^2 \cdot T_{ice,k,i} + h_k \cdot A_{eff,k,i} - (T_{air,k} - T_{ice,k}) - \rho_{ice} \cdot L_f \cdot \frac{\partial S_{k,i}}{\partial t}, \quad (3)$$

где: $\lambda_{eff} = \lambda_{ice} \cdot (1 - \phi) + \lambda_{air} \cdot \phi$ – эффективная теплопроводность пористого льда;

ϕ – пористость льда (доля воздуха в структуре);

c_{ice} – теплопроводность льда;

$S_{k,i}(t)$ – радиус зоны плавления в i -м сосуда k -й камеры.

Уравнение Стефана для фазового перехода:

$$\rho_{ice} \cdot L_f \cdot \frac{\partial S_{k,i}}{\partial t} = \lambda_{eff} \frac{\partial T_{ice,k,i}}{\partial r} \Big|_{r=S_{k,i}(t)} - h_k \cdot (T_{air,k} - T_{ice,k,i}), \quad (4)$$

где: $L_f = 334$ кДж/кг – скрытая теплота плавления/

Теплопотери через стенки

$$U(T, t) = U_0 \cdot e^{-k_{deg} \cdot t} + \alpha(T_{ext} - T_{air}), \quad (5)$$

где: U_0 – начальный коэффициент теплопередачи стенок камеры (в Вт/(м² · К)), характеризующий изоляционные свойства материала в начальный момент времени;

$k_{deg} = 0.001$ – коэффициент деградации изоляции (в c^{-1}), отражающий ухудшение теплоизоляции со временем;

α – температурный коэффициент, учитывающий зависимость U от разности температур.

Система управления (ПИД-регулятор:

$$v(t) = K_p \cdot t(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}, \quad e(t) = T_{target} - T_{out}(t), \quad (6)$$

где: K_p, K_i, K_d – коэффициенты пропорциональности, интегрирования и дифференцирования;

$T_{out}(t)$ – температура воздуха на выходе из третьей (последней) камеры.

Экономическая оптимизация:

$$C_{total} = C_{ice} \cdot m_{ice} + C_{energy} \cdot \int_0^t P_{vent}(\tau) d\tau, \quad (6)$$

где: C_{ice} – стоимость льда за 1 кг;

C_{energy} – стоимость электроэнергии за 1 кВт·ч;

$P_{vent} = \eta_{vent} \cdot \rho_{air} \cdot v^3 \cdot A_{flow}$ – мощность вентилятора/

Граничные и начальные условия. Для воздуха:

— на входе в первую камеру:

$$T_{air,1}(x = 0, t) = T_{in}, \quad \omega_1(x = 0, t) = \omega_{in}, \quad (7)$$

— на входе в $(k+1)$ -ю камеру:

$$T_{air,k+1}(x = 0, t) = T_{air,k}(x = L_k, t), \quad \omega_{k+1}(x = 0, t) = \omega_k(x = L_k, t), \quad (8)$$

Для льда:

— на поверхности сосуда:

$$\lambda_{eff} \frac{\partial T_{ice,k,i}}{\partial r} \Big|_{r=R} - h_k \cdot (T_{air,k} - T_{ice,k,i}), \quad (9)$$

— начальные условия:

$$T_{ice,k,i}(r, 0) = -20^\circ\text{C}, \quad S_{k,i}(0) = R, \quad (10)$$

При расчетах необходимо принимать на поворотах потока воздуха параметр интенсивности теплообмена принимаем равным 0, так как в этих местах аккумуляторы холода не размещаются.

На рисунке 1 представлены результаты расчета по полученной системе уравнений при заданных коэффициентах для льдосоляной смеси.

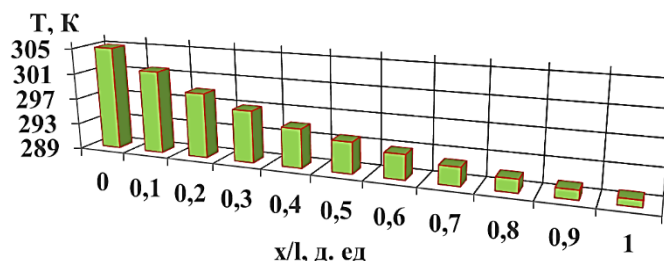


Рисунок 1 – Распределение температуры в установке охлаждения воздуха по ее длине

Выводы: разработанная математическая модель теплообмена в воздухоохлаждающей установке с ледяными аккумуляторами позволяет прогнозировать температурные и влажностные параметры микроклимата в подземных буровых галереях нефтяных шахт. Учтены ключевые факторы: нестационарный теплообмен, фазовые переходы льда, турбулентность потока, конденсация влаги, теплотери через стенки, а также влияние вибраций и примесей. Интеграция ПИД-регулятора и экономической оптимизации обеспечивает энергоэффективность и снижение эксплуатационных затрат.

Экспериментальная валидация подтвердила возможность снижения температуры воздуха до 26°C при скорости потока 2 м/с. Модель служит основой для проектирования адаптивных систем охлаждения, устойчивых к экстремальным условиям шахт. Перспективы работы включают внедрение цифровых двойников с IoT-интеграцией для мониторинга в реальном времени и машинного обучения для прогнозной аналитики.

Перечень ссылок

1. Пат. 207609 Российская Федерация, RU (11) (51) МПК E21F 3/00 (). Устройство для охлаждения воздуха в локальной рабочей зоне подземной выработки / К.А. Подвигин; заявитель и владелец К.А. Подвигин. – №2021123337; заявл. 02.08.2021; опубл. 03.11.2021, Бюл. № 31. – 7 с.
2. Подвигин, К. А. Исследование дальности подачи охлаждённого воздуха в поток нагретой струи в горной выработке / К. А. Подвигин // Вестник ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР. – 2021. – Вып. 1 (25). – С. 62-68.

© Е.В. Подвигина, К.А. Подвигин, В.В. Захарова 2025

УДК 622.831. 322:63

ОБНАРУЖЕНИЕ И РАЗВЕДКА ЗОН ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

А. Г. Радченко¹

1–Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, ул. Челюскинцев, д. 291, г. Донецк, 283004, ДНР

Аннотация: В статье рассмотрен ряд способов обнаружения и разведки зон геологических нарушений. Приведены рекомендуемые оптимальные длины разведочных скважин и их неснижаемое опережение в зависимости от ожидаемой амплитуды разрывных и пликативных геологических нарушений.

Annotation. The article discusses a number of methods for detecting and exploring zones of geological disturbances. The recommended optimal lengths of exploration wells and their irreducible lead are given, depending on the expected amplitude of discontinuous and plicative geological disturbances.

Ключевые слова: геологические нарушения, внезапные выбросы угля и газа, сейсморазведка нарушений, обнаружение нарушенных зон, шахтный радиолокатор, амплитудно-частотные характеристики сейсмосигналов.

Keywords: geological disturbances, sudden emissions of coal and gas, seismic exploration of disturbances, detection of disturbed areas, mine radar, amplitude-frequency characteristics of seismic signals.

Обзор литературы показал, что значительное количество внезапных выбросов угля и газа происходит в зонах геологических нарушений. Анализ аварий с несчастными случаями, которые произошли в зонах тектонической нарушенности на шахтах имени А. А. Скочинского, «Ясиновская-Глубокая», «Красноармейская – Западная № 1»,

«Краснолиманская», имени А. Ф. Засядько показал, что обнаружение и разведка зон геологических нарушений являются важной научной и практической задачей. При проведении геолого-разведочных работ выявляются разрывные нарушения с амплитудой $A \geq 10,0$ м.

Основная же часть (около 90 %) геологических нарушений, представляющих собой мелкоамплитудные нарушения с $A = 3 - 10$ м и

очень мелкие нарушения с $A < 3$ м, геологоразведкой не выявляются. Согласно данным литературы, геологические нарушения подразделяются на седиментационные (утонения, увеличения мощности, расщепления пласта) и тектонические (сбросы, взбросы, надвиги и т. д.).

В настоящее время для прогнозирования зон геологических нарушений различных типов важная роль отводится геофизическим методам исследований горного массива. Известны следующие сейсмоакустические методы выявления зон геологических нарушений: метод отраженных волн (МОВ), метод сейсмического просвечивания (МСП), метод сейсмической локации впереди забоя (МСЛ). Суть методов заключается в искусственном генерировании и регистрации проходящих через угольный массив упругих волн.

Известен способ сейсмоакустической разведки геологических нарушений с горных выработок [1], который включает возбуждение упругих сейсмических колебаний в одной выработке и приём их с помощью геофонов в противоположной, параллельно пройденной выработке (штреке) не менее чем в двух приемных пунктах. По данным измерений выполняется обработка высокочастотных составляющих амплитудно-частотного спектра. Следует отметить, что метод (МОВ) требует наличия двух параллельно пройденных подготовительных выработок (штреков). Для возбуждения сейсмических волн в указанных методах применяют обычно следующие способы: а) механические, периодические, последовательные удары молотом (кувалдой) по угольному забою; б) взрывание зарядов ВВ в шпурах. Методы МСП и МСЛ требуют наличия сейсморазведочной станции типа ШСС-1 «Дружба»; также необходимо наличие пройденной подготовительной выработки, длина которой должна быть не менее 100–150 м.

Прогнозирование зон геологических нарушений может выполняться по прочности угольного пласта, которая определяется двумя следующими способами: 1) по пылевому остатку угля, определяемому по известной методике с помощью прибора определения крепости – ПОК; 2) по буримости пласта с помощью прибора А. М. Янчура и А. Н. Кульбачного.

Анализ литературы показал, что надежное выявление зон геологических нарушений может выполняться с помощью измерений следующих показателей: начальная скорость газовыделения из шпуров – g_n ; концентрация гелия в составе газов, отобранных из скважин – He , %; тангенс угла диэлектрических потерь, измеренных в скважинах, которые пробурены по углю – $tg\delta$; показатель начальной скорости

газоотдачи из проб угля – ΔP ; природная газоносность угольных пластов – $X_{пр}$; показатель структурной нарушенности угольного массива – ΔJ ; температура угольного пласта, измеряемая поинтервально на стенках скважин, буримых в призабойной части проводимой горной выработки – $T_{уг}$.

Для обнаружения зон структурных геологических нарушений в МакНИИ был разработан в искробезопасном исполнении и испытан в шахтных условиях анализатор структуры массива АСМ-1. Принцип действия скважинного прибора АСМ-1 основан на измерении диэлектрической проницаемости угольного пласта по показателю $tg\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь. Основные технические характеристики прибора АСМ-1 и методика измерений в шахтных условиях описаны в работе [2]. Для обнаружения зон разрывных геологических с амплитудой $A > 0,5m$ в МакНИИ был разработан в искробезопасном исполнении и испытан в шахтных условиях опытный образец шахтного радиолокатора ШРЛ-1. Основные технические характеристики прибора ШРЛ-1 и методика измерений в шахтных условиях приведены в работе [3]. Выполненные шахтные экспериментальные исследования показали, что с помощью приборов ШРЛ-1 и АСМ-1 могут быть выявлены зоны геологических нарушений различных типов. В связи с распадом СССР были нарушены производственные, экономические и научно-технические связи между республиками, поэтому исследования по данным направлениям были прекращены.

Позже, в МакНИИ для поиска зон разрывных геологических нарушений с амплитудой смещения более $0,5$ мощности пласта ($A > 0,5m$) был разработан способ [4]. Способ [4] отличается от известного способа [1] тем, что упругие сейсмические колебания в угольном пласте возбуждаются следующими способами: а) при работе исполнительного органа проходческого комбайна; б) с помощью буровой коронки непосредственно в процессе бурения скважин диаметром $d = 42-44$ мм по угольному пласту. Для передачи сейсмосигналов из забоя на сейсмостанцию, расположенную на земной поверхности, используется разработанная в МакНИИ аппаратура передачи сейсмосигналов – АПСС. В способе [4] в процессе обработки сейсмических сигналов определяют следующие показатели:

-коэффициент K , который равен отношению амплитуды высокочастотной составляющей сигналов – A_v к амплитуде низкочастотной составляющей сигналов – A_n :

$$K = \frac{A_v}{A_n} ;$$

(1)

-резонансная частота в максимуме спектра акустических сигналов- F_p .

В первую очередь в нормальных условиях залегания угольного пласта определяют фоновые значения коэффициента K_ϕ и резонансной частоты $F_{p\phi}$. Затем, по мере продвижения выработки определяют текущие значения показателей $K_{тек}$ и $F_{pтек}$. О приближении зоны геологического нарушения судят по показателю P_g , который рассчитывается по формуле:

$$P_g = \frac{K_{тек}}{K_\phi} + \frac{F_{pтек}}{F_{p\phi}}; \quad (2)$$

При значениях $P_g \geq 5$ считают, что забой выработки вошел в зону геологического нарушения. По способу [4] дальность обнаружения зон геологических нарушений различных типов составляет до 30 м.

Важное значение имеют также доразведка и уточнение местоположения отдельных ветвей нарушений, а также узлов сопряжения геологических нарушений различных типов. В результате обобщения опыта ведения горных работ в зонах геологических нарушений на пологих угольных пластах Донбасса были разработаны рекомендации по разведке и доразведке зон геологических нарушений, основные положения этих рекомендаций изложены в нормативном документе [5].

В таблице 1 приведены рекомендуемые оптимальные длины разведочных скважин - $L_{скв}$ и их неснижаемое опережение - $L_{но}$ в зависимости от ожидаемой на данном участке пласта амплитуды разрывных и пликтивных геологических нарушений.

Таблица 1 – Длины разведочных скважин - $L_{скв}$ и их неснижаемое опережение - $L_{но}$ в зависимости от амплитуды нарушения

А, м	0,1-1,0	1,1-2,0	2,1-3,0	3,1-4,0	4,1-5,0	5,1-7,0	7,1-9,0	9,1-11,0	11,1-15,0	> 15,0
$L_{скв}$, М	5,0	8,0	10,0	15,0	20,0	25,0	27,0	28,0	29,0	30,0
$L_{но}$, м	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0

Выводы.

1. Выполненные шахтные экспериментальные исследования показали, что с помощью приборов ШРЛ-1 и АСМ-1 могут быть выявлены зоны геологических нарушений различных типов.

2. Обзор литературы и обобщение опыта ведения горных работ в зонах геологических нарушений на выбросоопасных угольных пластах Донбасса за последние 65 лет показали, что для надежного обнаружения зон геологических нарушений следует выполнять следующий комплекс геофизических измерений: 1) обнаружение зон геологических нарушений с помощью аппаратуры АПСС; 2) поинтервальные измерения начальной скорости газовыделения из шпуров и скважин – g_n , л/мин; 3) поинтервальные определения температура угольного пласта, измеряемой поинтервально на стенках скважин, буримых в призабойной части проводимой горной выработки – $T_{уг}$, °С. Применение указанного комплекса геофизических исследований позволит повысить достоверность и эффективность обнаружения зон геологических нарушений различных типов.

Перечень ссылок

1. UA , № 17898, МПК (2006) , GO1V 1/00. Способ сейсмоакустической разведки геологических нарушений с горных выработок. Оpubл. 16.10.2006. Бюл. № 10, 2006. Анциферов А. В., Трифонов А. С., Тиркель М. Г., Туманов В.В., Архипенко А. И.
2. Ольховиченко, А. Е. Анализатор структуры массива [Текст] / А. Е. Ольховиченко, В. М. Приходько, А. Г. Радченко. Горная геофизика. – Тезисы докладов. – Часть II. – Тбилиси: Госкомиздат ГССР. – 1989. – С. 88– 92.
3. Яковлев, Д. В. О способах обнаружения зон мелкоамплитудных геологических нарушений шахтным радиолокатором ШРЛ-I [Текст] / Д. В. Яковлев, А. Е. Ольховиченко, В. М. Приходько, В. Л. Овчаренко, А. Г. Радченко // Информационное письмо. - Донецк: ЦБНТИ Минуглепрома СССР.–1989.- С.1- 4.
4. Способ прогноза геологических нарушений: патент № 55577 Украины: МПКЕ 21 F 5 / 00 / А. А. Рубинский, Г. И. Колчин, А. В. Никифоров, А. Г. Радченко, Р. М. Богоудинов, М. Ф. Рыжков, Е. В. Алексеев / Собственник Государственный Макеевский научно-исследовательский институт по безопасному ведению горных работ в горной промышленности. – UA 2010 06256; заявл. 25. 05. 2010; опубл. 10. 12. 2010, бюл. № 3 – 4 с.
5. СОУ-П. 10.1. 00174088.017:2009: Правила пересечения горными выработками зон геологических нарушений на пластах, склонных к внезапным выбросам угля и газа. – Киев: Минуглепром Украины, 2009. – 40 с.

УДК 622.831. 322:63

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗОН ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

А. Г. Радченко¹

1 – Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, ул. Челюскинцев, д. 291, г. Донецк, 283004, ДНР

Аннотация: В статье рассмотрены существующие способы оценки степени выбросоопасности зон геологических нарушений. Для пологих особо выбросоопасных угольных пластов предложен способ комплексной оценки степени выбросоопасности зон геологических нарушений, основанный на измерении группы информативных показателей.

Annotation. The article discusses the existing methods for assessing the degree of emission hazard of geological disturbance zones. For shallow, particularly explosive coal seams, a method has been proposed for a comprehensive assessment of the degree of emission hazard in zones of geological disturbances based on measuring a group of informative indicators.

Ключевые слова: геологические нарушения, внезапные выбросы угля и газа, оценка степени выбросоопасности зон геологических нарушений, зона розгрузки, весовой выход бурового штаба, температура угольного пласта.

Keywords: geological disturbances, sudden emissions of coal and gas, assessment of the degree of emission hazard of geological disturbance zones, discharge zone, weight output of the drilling rig, temperature of the coal seam.

В практике ведения горных работ в зонах геологических нарушений довольно часто наблюдаются следующие газодинамические явления: а) прорывы и суфлярные выделения газов из угольных пластов; б) прорывы газов и суфлярные выделения из вмещающих пород; в) внезапные выбросы угля и газа; г) внезапные отжимы угля, обрушения и выдавливания угольного пласта и т. д. В литературе по горному делу большое внимание уделено различным способам обнаружения и разведки зон геологических нарушений различных рангов и типов. В тоже самое время, весьма важной задачей является определение степени выбросоопасности, степени газодинамической активности зон геологических нарушений. Этому

вопросу в литературе по горному делу уделено недостаточное внимание. Поэтому, **целями данной работы** являются: 1) анализ существующих способов оценки степени выбросоопасности зон геологических нарушений; 2) определение перспективного направления по совершенствованию способов оценки степени газодинамической активности зон геологических нарушений.

Согласно нормативным документам [1], после вскрытия зоны геологического нарушения в комбайновой части лавы необходимо выполнять оценку степени его выбросоопасности. Шахтные экспериментальные исследования по оценке степени выбросоопасности зон геологических нарушений различных типов на пологих угольных пластах выполнялись в условиях ПО «Донецкуголь» на шахтах: 1) шахта «Мушкетовская», выбросоопасные пласты h_7 и h_3 ; 2) шахта им. газеты «Социалистический Донбасс» (позже «Заперевальная – 2»), особо выбросоопасный пласт h_{10} ; 3) шахта «Заперевальная-1», особо выбросоопасный пласт h_7 ; 4) шахта «Глубокая», особо выбросоопасный пласт h_{10} ; 5) шахта им. 60-летия Советской Украины, особо выбросоопасный пласт h_{10} .

В геологическом нарушении и на эталонном участке (нормальные условия залегания угольного пласта) бурили ряд шпуров, в каждом шпуре по методике измерения динамики начальной скорости газовыделения из шпуров - g_n согласно [1] определяли величину зоны разгрузки – $L_{раз}$, м. Средние арифметические значения величины зоны разгрузки, полученные в нарушении - $L_{раз нар}$, сравнивали со средними арифметическими значениями величины зоны разгрузки, полученные на эталонном участке - $L_{раз этал}$. Нарушение относили к активным по выбросам при условии: $L_{раз нар} < L_{раз этал}$. В лавах в зонах активных по выбросам геологических нарушениях применяли противовыбросные мероприятия: гидрорыхление, торпедирование угольных пластов, дистанционный проезд комбайном.

Основные результаты исследований по оценке степени выбросоопасности зон геологических нарушений на пологих угольных пластах Донбасса были включены в нормативные документы - [1, приложение В. Ведение горных работ в зонах геологических нарушений на пластах, склонных к выбросам угля и газа]. На рисунке 1 приведен пример технологической схемы по выполнению оценки степени выбросоопасности зоны геологического нарушения типа сброс.

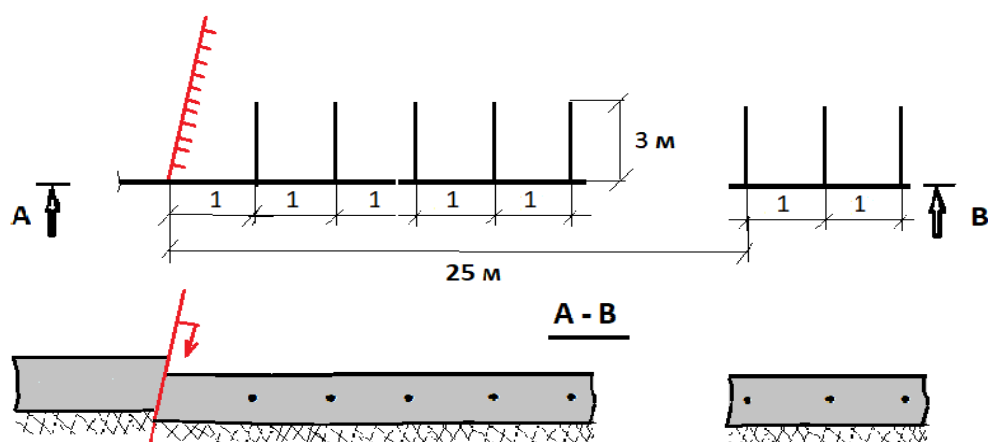


Рисунок 1 – Технологическая схема по выполнению оценки степени выбросоопасности зоны геологического нарушения типа сброс

На рисунке 2 приведена технологическая схема оценки степени выбросоопасности сложного сброса, в котором лежащее крыло характеризуется повышенными значениями интенсивности трещиноватости угольного пласта- $I_{тр}$.

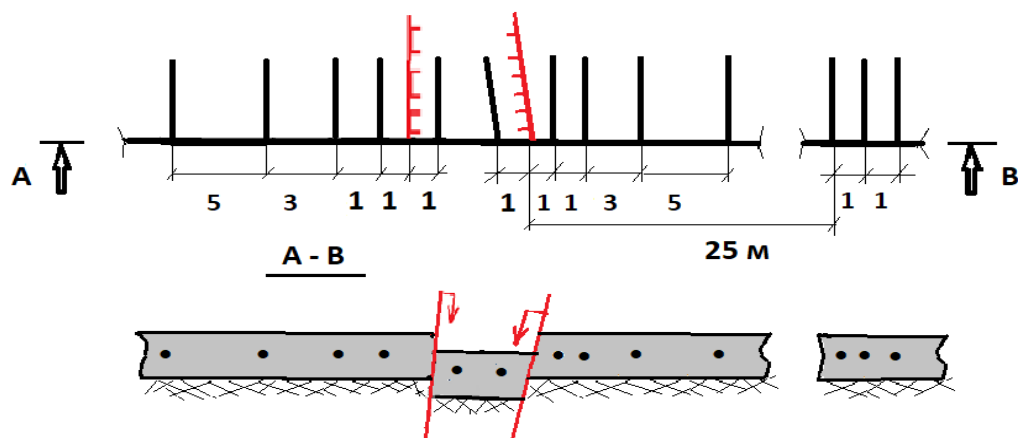


Рисунок 2 – Технологическая схема по выполнению оценки степени выбросоопасности зоны геологического нарушения типа сложный сброс

Сложные сбросы характеризуются повышенными значениями величин $I_{тр}$ на крыльях сместителей. В таких случаях оценка степени выбросоопасности нарушенной зоны выполняется на обоих крыльях, прилегающих к сместителям данного нарушения. В качестве примера на рисунке 2 приведена технологическая схема оценки степени выбросоопасности сложного сброса в очистном забое в условиях шахты «Запореваляная-1» на особо выбросоопасном пласте h_7 .

При наличии нескольких геологических нарушений в очистном забое не всегда удается выбрать эталонный участок с нормальными условиями залегания угольного пласта. В таком случае оценку степени выбросоопасности в данного геологического нарушения выполняют путем определения величин зоны разгрузки $L_{раз}$, м по двум осям: 1) по оси X, т. е. по направлению движения лавы, по линии простиранения пласта; 2) по оси Y, т. е. от плоскости сместителя нарушения по линии падения угольного пласта. По данному способу оценки степени выбросоопасности разрывного геологического нарушения получено авторское свидетельство [2]. Оценка степени выбросоопасности различных участков угольных пластов может также выполняться по темпу снижения начальной скорости газовыделения из шпуров и скважин - g_n . Участки повышенной потенциальной выбросоопасности угольных пластов характеризуются более высокими значениями темпа падения показателя g_n . По данному способу получено авторское свидетельство [3].

Ведение горных работ в зонах геологических нарушений на особо выбросоопасных угольных пластах относится к особо сложным условиям разработки шахтопластов и требует применения повышенных мер безопасности в тектонически нарушенных зонах. На ряду с достоинствами известных способов оценки степени выбросоопасности угольных пластов [2, 3] следует отметить их недостатки. К недостаткам способов [2, 3] следует отнести следующее: 1) оценка степени выбросоопасности угольных пластов выполняется только по одному показателю - g_n ; 2) в зонах геологических нарушений в ряде случаев наблюдается разбуривание шпуров и скважин, что снижает качество герметизации шпуров и скважин, приводит к неправильному определению величины g_n . Выполненные анализ литературы и обобщение опыта ведения горных работ на пологих пластах Донбасса за последние 65 лет показали, что применение комплекса геофизических измерений позволяет повысить достоверность и эффективность обнаружения, доразведки и оценки степени газодинамической активности зон геологических нарушений в условиях пологих угольных пластов Донбасса.

Основные особенности и закономерности формирования выбросоопасных участков в угольных пластах на локальном и текущем уровнях были изложены в работе [4]. В работе [4] рассмотрены основные положения разработанной геомехано-газотермодинамической модели формирования выбросоопасных участков в угольных пластах.

В работе [5] указывается на важность учета температуры угольных

пластов.

В связи с выше сказанным, с целью повышения уровня безопасного ведения горных работ в зонах геологических нарушений на особо выбросоопасных пологих угольных пластах предложен способ комплексной оценки степени выбросоопасности зон геологических нарушений, который основан на измерении группы следующих информативных показателей: диаметр шпуров и скважин- $d_{скв}$, мм; весовой выход бурового штыба- $Q_{шт}$, кг; фракционный состав бурового штыба - $F_{шт}$; начальная скорость газовыделения из шпуров и скважин- g_n , л/мин; температура угольного пласта, измеряемая поинтервально на стенках шпуров и скважин – $T_{уг}$, °С.

Выводы.

1. Ведение горных работ в зонах геологических нарушений на особо выбросоопасных угольных пластах относится к особо сложным условиям разработки шахтопластов и требует применения повышенных мер безопасности в тектонически нарушенных зонах.

2. Применение способа комплексной оценки степени выбросоопасности зон геологических нарушений на пологих особо выбросоопасных угольных пластах позволит повысить уровень безопасного ведения горных работ в особо сложных условиях их разработки.

Перечень ссылок

1. СОУ 10.1.00174088.011 – 2005 Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям [Текст] / Киев: Минуглепром Украины, 2005. - 225 с.

2. SU, а. с. № 1506137, А1- СССР, – МПК Е 21 F 5/00. Способ оценки степени выбросоопасности дизъюнктивных геологических нарушений / А. А. Рубинский, М. И. Большинский, А. Г. Радченко и В. Т. Сапронов – Оpubл. 07.09.1989. – Бюл. № 33, 2 с.

3. SU, а. с. № 1645548, А1-СССР, – МПК Е 21 F 5/00. Способ оценки выбросоопасных зон в угольном массиве / Н. Р. Бельская, Е. И. Верховский, А. А. Рубинский, А. Г. Радченко и Я. Н. Бойко. - Оpubл. 30.04.1991.-Бюл. №16, 3 с.

4. Радченко, А. Г. Новые модели формирования выбросоопасных зон в угольных пластах на региональном и текущем уровнях [Текст] / 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. Рыженко, И.А. Прогноз выбросоопасности призабойной части пластов по температурному режиму [Текст] / Рыженко И. А., Еремин И. Я. // Уголь Украины. - 1988, № 3. – С. 36 – 37.

УДК 622.831. 322:63

ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА БЕЗОПАСНОГО ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ В ЗОНАХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ НА ПОЛОГИХ ВЫБРОСООПАСНЫХ ПЛАСТАХ

А. Г. Радченко ¹

1 – Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, ул. Челюскинцев, д. 291, г. Донецк, 283004, ДНР

Аннотация: В статье рассмотрен опыт безопасного ведения горных работ в зонах геологических нарушений на пологих пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа. Приведены основные положения разработанных «Рекомендации по безопасному ведению горных работ в зонах геологических нарушений на пологих выбросоопасных пластах».

Annotation. Abstract: The article discusses the experience of safe mining operations in zones of geological disturbances in gently sloping formations, dangerous due to sudden emissions of coal and gas. The main provisions of the Recommendations for Safe Mining Operations in Zones of Geological Disturbances in Gently Flowing Hazardous Formations are given.

Ключевые слова: геологические нарушения, внезапные выбросы угля и газа, гидрорыхление угольного пласта, торпедирование, контроль эффективности, рекомендации, безопасное ведение горных работ

Keywords: geological disturbances, sudden emissions of coal and gas, hydraulic loosening of coal seam, torpedoing, efficiency control, recommendations, safe performance of mine operations

Обзор литературы показал, что значительное количество внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса зафиксировано в зонах геологических нарушений. В работе [1] приведен анализ выбросов угля и газа, произошедших в Донецко-Макеевском районе на 33 шахтах, которые разрабатывали 52 выбросоопасных шахтопласта. Всего было проанализировано 1247 выбросов: 360 внезапных выбросов угля и газа и 887 выбросов, произошедших при ведении сотрясательного взрывания. Анализ показал, что 61 % внезапных выбросов и 22 % выбросов, зафиксированных при ведении сотрясательного взрывания, произошли в зонах геологических нарушений.

Зоны геологических нарушений являются участками природной повышенной потенциальной выбросоопасности угольных пластов. При

переходе зон геологических нарушений необходимо выполнять повышенные меры и мероприятия по безопасному ведению горных работ. Весьма важно изучать и применять на практике опыт безопасного ведения горных работ в зонах геологических нарушений, полученный в Донбассе, на угольных месторождениях Российской Федерации и в других угледобывающих странах.

В связи с этим, **целью данной работы** является: анализ и обобщение опыта безопасного ведения горных работ в зонах геологических нарушений на пологих пластах Донбасса.

Согласно работы [2], для обеспечения повышенного уровня безопасного ведения горных работ на особо выбросоопасных угольных пластах в зонах активных по внезапным выбросам геологических нарушениях применяли разработанные комбинированные технологические схемы, которые включали в себя совместное применение торпедирования и гидрорыхления. В качестве примера на рисунке 1 приведена комбинированная технологическая схема применения противовыбросных мероприятий в зоне разрывного геологического нарушения.

В начале, на концевых участках нарушенной зоны выполнялось гидрорыхление угольного пласта в такой последовательности: а) в левом крыле нарушения нагнетались скважины № № Н₁, Н₂, Н₃; б) в правом крыле нарушения нагнетались скважина № Н₆, за ней скважина № Н₅ и после этого нагнетали воду в скважину № Н₄. После этого осуществляли контроль эффективности применения нагнетания. Далее под защитой зоны нагнетательных скважин бурили новые скважины и в них выполняли торпедирование крайних, удаленных от сброса скважин - № № Т₁, Т₂ и Т₆, Т₅. После этого осуществляли контроль эффективности применения торпедирования на данных участках угольного массива. Затем в следующем цикле буро-взрывных работ под защитой ранее проторпедированных скважин выполнялось бурение и торпедирование скважин № № Т₃, Т₄ непосредственно в самом сложном сбросе. После этого осуществляли контроль эффективности применения торпедирования по скважинам № № Т₃ и Т₄; (рисунок 1). В результате применения такой комбинированной технологической схемы в призабойной части угольного пласта наблюдался рост величины зоны разгрузки с 3,0 до 6,0 м и более.

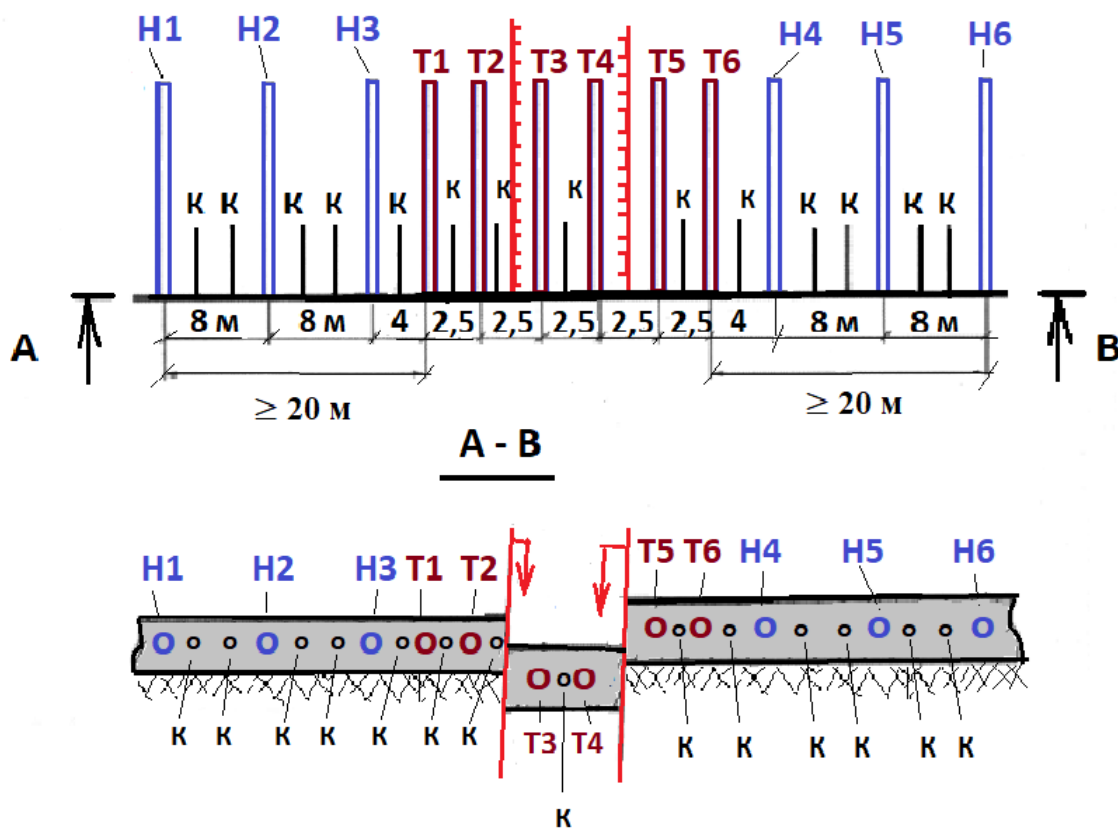


Рисунок 1– Технологическая схема применения совместного торпедирования и гидрорыхления с последующим контролем эффективности их применения для очистных забоев в разрывном нарушении (сложный сброс): Н- скважины для гидрорыхления; Т-скважины для торпедирования; К – шпуры для контроля эффективности применения гидрорыхления и торпедирования; [2]

В результате выполненных обзора литературы, шахтных экспериментальных исследований и обобщения опыта ведения горных работ в зонах геологических нарушений были разработаны для шахт Донбасса «Рекомендации по безопасному ведению горных работ в зонах геологических нарушений на пологих выбросоопасных пластах», [3]. Указанные «Рекомендации....» содержат следующие этапы ведения горных работ в зонах геологических нарушений:

- обнаружение, разведка и доразведка зон нарушений различных типов, выбор оптимальных параметров при бурении скважин: их количества, длины и неснижаемого опережения [2] ;
- рекомендации по ведению горных работ при подходе, пересечении и отходе горных выработок от зон геологических нарушений [2, 4] ;
- оценка степени выбросоопасности геологических нарушений [2] ;
- выбор способа и технологической схемы ведения текущего прогноза выбросоопасности угольного пласта в зоне нарушения [2] ;

- выбор способа, параметров и технологической схемы выполнения противовыбросных мероприятий (гидрорыхления, торпедирования) в геологическом нарушении [2];
- выбор способа, параметров и технологической схемы ведения контроля эффективности выполнения противовыбросных мероприятий (гидрорыхления, торпедирования) в зоне нарушения [2] ;
- рекомендации по безопасным расстояниям расположения подготовительных выработок вблизи зон геологических нарушений [4].

Выше указанные «Рекомендации....» прошли этапы промышленной проверки и внедрения в условиях шахт ПО «Донецкуголь» [3, 5].

Промышленные испытания «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на пологих угольных пластах Донбасса» выполнены на 6 шахтах ПО «Донецкуголь»: 1) ш. Запореваляная № 1 ш \ у

« Донбасс », пласт h_7 ; 2) ш. Запореваляная № 2 ш \ у « Донбасс», пласт h_{10} ; 3) ш. Мушкетовская, пласты h_3, h_7 ; 4) ш. № 6 ш / у «Красная Звезда », пласты h_6, h_7 ; 5) ш. № 9 « Капитальная» ш / у «Красная Звезда », пласты h_3, h_7 ; 6) ш. № 12 « Наклонная» ш / у «Красная Звезда », пласты h_3, h_4 . Общее подвигание забоев в зонах геологических нарушений составило 4716 м [3, 5].

Внедрение «Рекомендаций....» выполнено на 8 шахтах ПО «Донецкуголь» : 1) ш. Запореваляная № 1 ш \ у «Донбасс», пласты h_7, h_8 ; 2) ш. Запореваляная № 2 ш \ у « Донбасс », пласты h_{10}, h_8 ; 3) ш. им. 60-летия Советской Украины, пласт h_{10} ; 4) ш. Мушкетовская, пласты h_3, h_7 ; 5) ш. № 9 « Капитальная » ш / у «Красная Звезда », пласты h_{2^1}, h_4, h_6 ; 6) ш. № 6 ш / у «Красная Звезда », пласт h_6 ; 7) ш. № 12 «Наклонная» ш / у «Красная Звезда », пласты h_3, h_4 ; 8) Глубокая, пласт h_8 . Общее подвигание очистных выработок в зонах геологических нарушений составило 3062 м, в том числе на особо выбросоопасных пластах – 1968 м. Общее подвигание подготовительных выработок в зонах геологических нарушений составило 406 м, в том числе на особо выбросоопасных пластах 351м [3,5].

Более подробно результаты применения разработанных «Рекомендаций по безопасному ведению горных работ в зонах геологических нарушений на пологих выбросоопасных пластах» приведены в работах [2, 3, 5]. Применение разработанных «Рекомендаций.....» позволило повысить уровень безопасного ведения горных работ в зонах геологических нарушений на пологих выбросоопасных угольных пластах в условиях ПО «Донецкуголь».

Выводы.

1. Ведение горных работ в зонах геологических нарушений на особо выбросоопасных угольных пластах относится к особо сложным условиям разработки шахтопластов и требует применения повышенных мер и мероприятий по безопасному ведению горных работ.

2. Применение «Рекомендаций.....» на пологих выбросоопасных угольных пластах Российской Федерации и в других дружественных странах позволит повысить уровень безопасного ведения горных работ в особо сложных условиях их разработки .

Перечень ссылок.

1. Яйло, В. В. Особенности проявления выбросоопасности угольных пластов пологого падения в зонах геологических нарушений [Текст] / В. В. Яйло, А. А. Рубинский, А. Г. Радченко, А. Л. Вайнштейн // Разработка месторождений полезных ископаемых. – Респ. межвед. научн. – техн. сб. – Киев: Техника, 1985. – вып. 71. – С. 75 – 76.

2. Минеев, С. П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография], [Текст] / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко // Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. – 603 с.

3. Рубинский, А. А. Способы перехода зон тектонической нарушенности при отработке пологих выбросоопасных угольных пластов [Текст] / А. А. Рубинский, А. Г. Радченко, М. М. Сухурова // Создание безопасных условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. МакНИИ. – Макеевка – Донбасс, 1986. – С. 33-37.

4. Рубинский, А. А. Расположение горных выработок в зонах геологических нарушений на пологих выбросоопасных пластах [Текст] / А. А. Рубинский, А. Г. Радченко // Способы и средства создания безопасных условий труда в шахтах: сб. науч. тр. МакНИИ. – Макеевка – Донбасс, 1984. – С. 37-40.

5. Никитин, И. Г. Опыт применения «Рекомендаций по безопасному ведению горных работ в зонах геологических нарушений на пологих выбросоопасных пластах» в условиях шахты им. газеты «Социалистический Донбасс». И. Г. Никитин, А. А. Рубинский, А. Г. Радченко // Информационный листок. – Донецк: ЦБНТИ Минуглепрома УССР. 1985. – С. 1- 4.

УДК 622.7

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ УГОЛЬНЫХ БРИКЕТОВ

В.Г. Самойлик, А.С. Онищенко
ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

***Аннотация.** В статье приведены материалы по исследованию режимов получения композиционных угольных брикетом с добавками отходов растительного происхождения. Определены оптимальные параметры процесса брикетирования. Установлено, что максимально возможное содержание отходов в брикете не превышает 10 %.*

***Abstract.** The article presents materials on the study of the modes of obtaining composite coal briquettes with additives of waste of plant origin. Optimal parameters of the briquetting process have been determined. It was found that the maximum possible waste content in the briquette does not exceed 10%.*

***Ключевые слова:** брикетирование, отходы растительного происхождения, связующее, давление прессования, температура термообработки*

***Keywords:** briquetting, waste of vegetable origin, binder, pressing pressure, heat treatment temperature*

Композиционные угольные брикеты представляют собой вид твёрдого топлива, в котором помимо угольной мелочи присутствуют и другие компоненты. Основные требования, которые предъявляются к таким компонентам, следующие [1, 2]:

- минимальное снижение прочности брикетов, полученных из исходного каменноугольного сырья;
- минимальное снижение теплотворной способности топлива.

В наших исследованиях в качестве дополнительного компонента угольных брикетов использовались отходы растительного происхождения.

Экспериментальные исследования проводились сериями, отличающимися составом шихты и режимами брикетирования.

Предварительно были выполнены базовые эксперименты, направленные на определение рациональных параметров процесса прессования (влажность шихты, количество и тип связующего,

давление прессования) и термообработки готовых брикетов (температура и продолжительность термообработки), состоящих из одного угольного компонента. В качестве связующих использовались жидкий лигносульфонат (марка ЛСН-Ж) и меласса. Выходным показателем процесса брикетирования, определяющим качество полученных брикетов, принята структурная прочность брикета на раздавливание плоским индентором. Определение прочностных характеристик производилось после остывания брикетов до комнатной температуры.

Кроме жидких связующих в ходе исследований были изучены возможности применения сухих связующих. Преимуществом использования данных связующих является более эффективное их смешивание с шихтой в сухом состоянии, транспортабельность в зимнее время года и пониженные требования к влажности исходных компонентов шихты. Основная особенность в подготовке шихты к брикетированию с сухими водорастворимыми связующими – обеспечение возможности перехода связующего в водное гелеобразное состояние перед брикетированием, что будет способствовать повышению адгезионных свойств связующего при сушке брикета. Данная цель достигается следующей последовательностью операций:

- смешивание сухих компонентов;
- добавка в шихту воды до требуемой влажности и смешивание при температуре 80-90 °С.

В производственных условиях этот процесс легко реализуется в смешивающем аппарате (малаксере), представляющем собой вертикальный паровой смеситель. Из возможных сухих связующих был испытан сухой (твёрдый) лигносульфонат (марка ЛСН-Т).

Найденные параметры, соответствующие максимальной прочности однокомпонентного угольного брикета (табл. 1), были приняты затем как базовые при прессовании и термической обработке композиционных брикетов.

Таблица 1

Рациональные режимы брикетирования каменноугольных брикетов

Параметр	Единицы измерения	Тип связующего		
		ЛСН-Ж	меласса	ЛСН-Т
1	2	3	4	5
Влажность шихты	%	12,5	12,5	12,5
Расход связующего (сухая масса)	%	7	8	8

Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве

Перемешивание	мин / °С	-	-	10 / 75
Окончание таблицы 1				
1	2	3	4	5
Давление прессования	МПа	25	25	25
Температура термообработки	°С	175-200	250	225
Продолжительность термообработки	мин	15-20	15	16
Прочность брикета	МПа	6,3-6,5	7,0-7,5	7,9

В последующих сериях экспериментов определялись рациональные режимы процесса подготовки шихты и прессования при получении композиционных брикетов. Контроль теплотехнических показателей брикета и компонентов шихты, их зольность и влажность осуществлялись в соответствии с действующими стандартами РФ. Характеристики исследуемых компонентов брикета приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики составляющих шихты для брикетирования

Компонент	Зольность, %	Теплота сгорания (высшая/низшая), МДж/кг	Содержание серы, %	Крупность, мм
Каменный уголь	18,12	31,1 / 21,3	0,95	0-3
Опилки сосновые	1,8	21,4 / 17,9	0,07	0-1
Опилки твёрдых пород	1,3	21,8 / 18,2	0,04	0-1
Стружка древесная	1,5	21,6 / 18,1	0,05	0-1
Лузга	0,4	20,4 / 16,6	0,02	0-1
Бумага	3,8	14,3 / 13,4	0,07	0-1
Солома пшеничная	3,3	17,1 / 16,0	0,04	0-1

Брикетиrowание композиционной шихты имеет целый ряд особенностей. Производство сложных по составу брикетов, включающих угольную составляющую и растительные отходы, вызывает технические затруднения. Причинами этого являются различия в структурно-механических свойствах компонентов.

Различие в значениях модулей упругости углистого вещества и растительных отходов (древесные опилки, стружка и пр.) вызывает внутреннее перемещение частиц шихты после снятия давления прессования. Если адгезионные силы, определяемые связующим, меньше сил, вызванных релаксацией системы (брикетируемой массы) после выхода брикета из зоны давления, появляются внутренние трещины, снижающие конечную прочность брикета.

Снизить отрицательный эффект этого явления могут технологические операции, переводящие упругие деформации частиц растительных отходов в пластические. Одной из таких операций может быть пропаривание растительной составляющей шихты при повышенной температуре. Снижению упругих деформаций в брикетируемой шихте будет способствовать и измельчение растительных отходов до крупности менее 1 мм.

В качестве растительной добавки в основной серии экспериментов были приняты сосновые опилки крупностью 0-1 мм. После определения рациональных режимов брикетиrowания с данной шихтой проводились контрольные опыты по прессованию шихты с другими растительными добавками – измельченной до 1 мм древесной стружкой, соломой, бумажными отходами и лузгой подсолнечника.

В основной серии экспериментов испытывалась шихта двух составов: № 1 с содержанием опилок 5 % и № 2 – 10 % (с рабочей влагой). Составы шихты с влажностью 12,5-12,6 %, полученные в пересчёте на сухую массу, показаны в таблице 3.

Таблица 3

Составы шихты для основной серии экспериментов

Компонент	Содержание, %	
	Шихта № 1	Шихта № 2
Каменный уголь (сухая масса)	87,9	83,4
Опилки (сухая масса)	4,5	9,0
Лигносульфонат ЛСН-Ж (сухая масса)	7,6	7,6
Итого	100,0	100,0
Вода до влажности, %	12,5	

Результаты экспериментов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты брикетирования шихты с лигносульфонатом (ЛСН-Ж)

№	Шихта № 1			Шихта № 2		
	Условия термообработки		Давление разрушения, МПа	Условия термообработки		Давление разрушения, МПа
	температура, °С	время, мин		температура, °С	время, мин	
1	175	10	1,8	175	10	1,50
2		15	2,43		15	1,75
3		20	3,12		20	1,95
4	200	10	2,85	200	10	1,89
5		15	3,74		15	3,08
6		20	4,66		20	3,62
7	225	10	3,81	225	10	3,12
8		15	5,59		15	4,25
9		20	5,38		20	4,09

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что добавление в шихту брикетирования древесных опилок снижает прочность брикета. Увеличение содержания опилок свыше 10 % сопровождается появлением трещин в брикете до термообработки.

Аналогичные серии экспериментов были проведены с мелассой и сухим лигносульфонатом (ЛСН-Т). Сравнительный анализ показал, что меласса и сухой лигносульфонат при оптимальных условиях брикетирования обеспечивают более прочную структуру брикета (5,8 и 6,3 МПа, соответственно). Тенденция по снижению прочности брикетов при росте содержания в шихте растительных отходов сохраняется. Максимально допустимое содержание отходов в шихте – 10 %.

Контрольные опыты с другими растительными отходами при найденных режимах брикетирования показали, что брикеты с их содержанием до 10 % имеют аналогичную прочность, полученную в основной серии экспериментов. Исключение составляет лузга подсолнечника, для которой содержание в шихте более 5 % резко снижает прочность брикета (до 2,5–3 МПа).

В результате проведения серии экспериментов был принят рациональный режим получения композиционных угольных брикетов, содержащих отходы растительного происхождения (табл. 5).

Таблица 5

Рациональный режим брикетирования шихты (уголь + отходы растительного происхождения)

Параметр	Единицы измерения	Значение
Состав шихты:		
- содержание угля (сухая масса)	%	83,3
- содержание отходов (сухая масса)	%	9,1
- содержание ЛСН-Т (сухая масса)	%	7,6
Итого	%	100
Влажность шихты	%	13,0
Расход ЛСН-Т (сухая масса)	%	8,0
Перемешивание	мин /°С	15 / 90
Давление прессования	МПа	25
Температура термообработки	°С	250
Продолжительность термообработки	мин	14-18
Прочность брикетов	МПа	6,1–6,3

Выводы. Этот режим брикетирования приемлем для всех исследуемых нами видов отходов растительного происхождения, кроме лузги подсолнечника. Для неё необходимо проведение дополнительных экспериментов по подбору оптимального связующего и условий брикетирования шихты.

Перечень ссылок

1. Окускование минерального сырья и продуктов его переработки [Электронный ресурс] : монография / А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко, В.Г. Самойлик и др. ; ГОУВПО "ДОННТУ". - 3 Мб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2019. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.ru/books/19/cd8877.pdf>

2. Корчевский А. Н. Брикетирование твердых горючих полезных ископаемых : учебник / А. Н. Корчевский, В. Г. Самойлик. - 5 Мб. - Москва : Инфра-Инженерия, 2025. - 1 файл. - Систем. требования: просмотрщик PDF-файлов. <http://ed.donntu.ru/books/24/cd10927.pdf>

УДК 622.7 (075.8)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ГРАНИТНОЙ ДРЕСВЫ

В.Г. Самойлик, С.С. Шаповалов
ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. Статья содержит данные по технологии переработки гранитной дресвы. Приведены баланс продуктов разделения, технологическая схема и схема оборудования установки по переработке дресвы производительностью 50 т/ч.

Abstract. The article contains data on granite chippings processing technology. The balance of separation products, process flow chart and equipment diagram of a chippings processing plant with a capacity of 50 t/h are presented.

Ключевые слова: гранитная дрова, баланс продуктов разделения, классификация, дробление, сушка

Keywords: granite wood, balance of separation products, classification, crushing, drying

Дресва – осадочная горная порода, образовавшаяся в результате механического разрушения горных пород. Представляет собой крупнообломочный грунт, состоящий из неокатанных частиц размером от 2 до 10 мм. Напоминает крупный песок, с включением мелких камней разной фракции.

Добыча материал выполняется карьерным способом. Обычно он располагается близко к поверхности, где на горную породу действуют силы выветривания. Это довольно дешевый материал, менее ценный, чем чистый песок, галька или гравий. Однако и он нашел свое применение [1].

Целью настоящих исследований является разработка технологии по переработке гранитной дресвы с целью получения следующих фракций по крупности:

- 0,16–0,6 мм – строительные растворы;
- 0,6–1,8 мм – штукатурные растворы;
- 1,8–2,5 – бетонные растворы.

Расчёт технологической схемы проводился на основании данных по гранулометрическому составу исходной дресвы с учётом норм

проектирования установок по классификации и дроблению полезных ископаемых [2, 3].

Результаты расчёта приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Баланс продуктов разделения

№ прод.	Наименование	Выход, %	Нагрузка, т/ч	Количество воды, м ³ /ч
1	Исходный	100,00	50,00	3,76
Выходит				
16	Класс 0,16-0,6 мм	24,79	12,40	0,63
17	Класс 0,6-1,8 мм	33,59	16,80	0,70
18	Класс 1,8-2,5 мм	21,60	10,80	0,34
7	Слив в циркуляцию	4,33	2,16	12,31
6, 11	Шлам в отстойник	13,39	6,69	96,49
12	Слив в оборот	2,30	1,15	67,80
15	Пар	0,00	0,00	34,04
Итого выходит		100,00	50,00	212,30

Технологическая схема по переработке гранитной дресвы включает в себя следующие операции:

- гидроклассификация исходной дресвы в скруббер-бутаре СБ-18 по крупности 2,5 мм;

- обезвоживание и обесшламливание класса + 2,5 мм на грохотах ГИсМх-8х2 (ГИСЛ-42) с выделением шлама 0–0,16 мм;

- сгущение класса 0–0,16 мм в гидроциклонах ГЦМ-350 с выделением песков в отстойник, а слива – в оборот;

- дробление класса + 0,16 мм в дробилках СМД-500 до крупности 0–2,5 мм;

- гидроклассификация класса 0–2,5 мм в спиральных классификаторах 1КСН-12МРБ1 с выделением песков и слива;

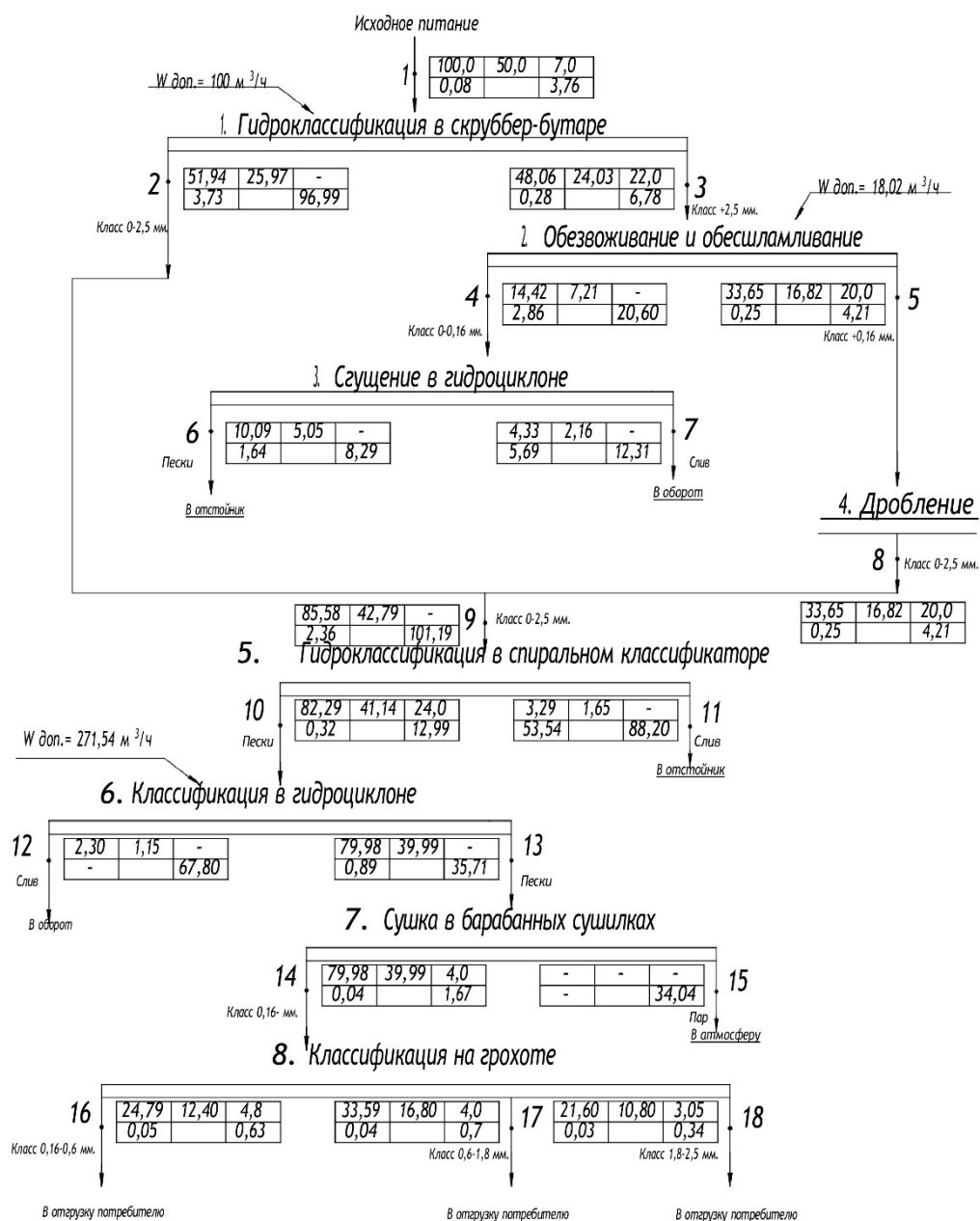
- гидроклассификация полученных песков в гидроциклонах ГЦМ-350;

- суша песковой фракции в барабанных сушилках БН 3,2-22НУ;

- классификация высушенной песковой фракции на грохотах ГИсМх-8х2 (ГИСЛ-42).

Технологическая схема по переработке гранитной дресвы представлена на рис. 1. Схема оборудования установки – на рис. 2.

Технологическая схема по переработке гранитной дресвы на производительность 50 т/ч.



Условные обозначения

$\gamma, \%$	$Q, \text{ т/ч}$	$W', \%$
$R, \text{ м}^3/\text{м}$		$W, \text{ м}^3/\text{ч}$

Рис. 1 – Технологическая схема по переработке гранитной дресвы

Схема оборудования установки по переработке гранитной дресвы на производительность 50 т/ч

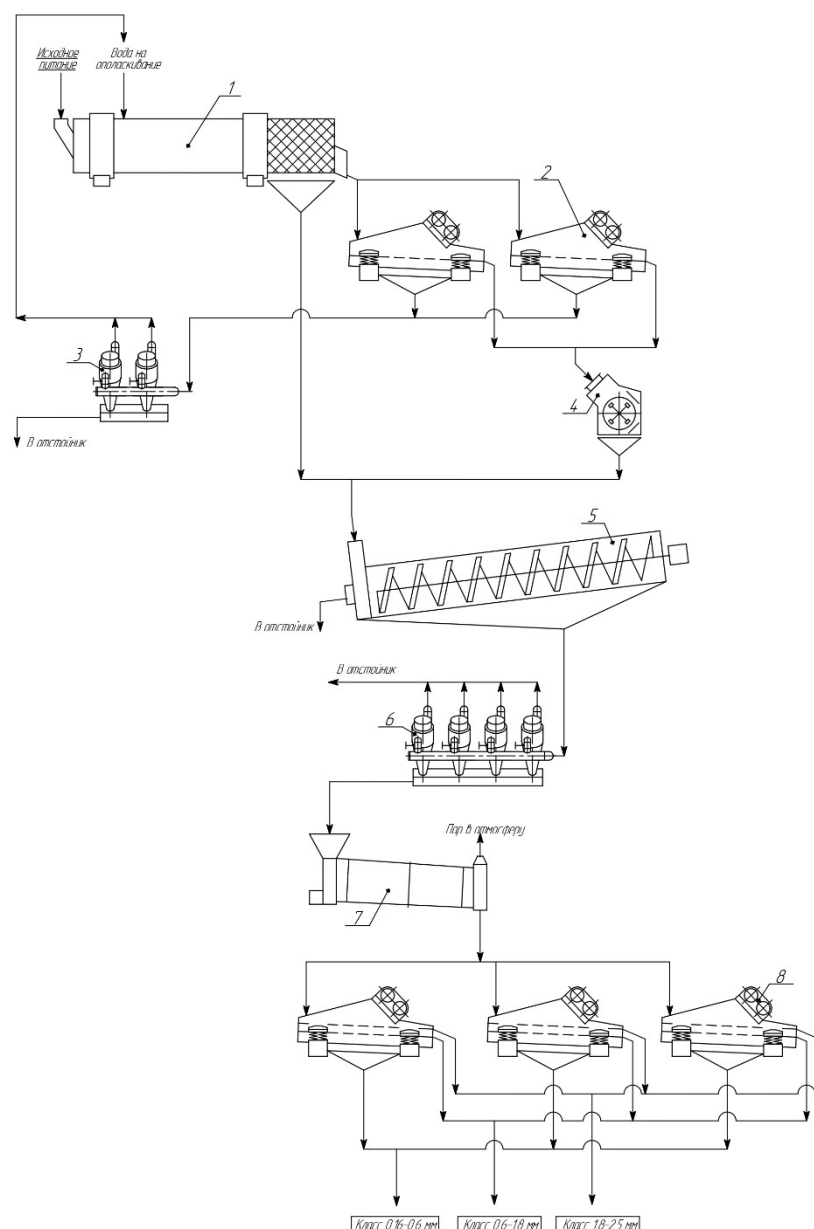


Рис. 2 – Схема оборудования установки по переработке гранитной дресвы:

- 1 – скруббер-бутара; 2 – грохот обезвоживающий; 3 – гидроциклоны классификационные; 4 – молотковая дробилка; 5 – спиральный классификатор; 6 – гидроциклоны классификационные; 7 – барабанная сушилка; 8 – грохот классификационный

Выводы. Выполненные исследования гранулометрического состава исходной гранитной дресвы и расчёты технологической схемы по её переработке показали возможность получения конечных продуктов, по качеству, соответствующих требованиям потребителей. Разработанная установка производительностью 50 т/ч может быть использована в промышленных условиях.

Перечень ссылок

1. Дресва. Состав и применение. Плюсы и минусы. Особенности. – URL: <https://polza.belturs.ru/articles/dresva-chto-eto-takoe-v-stroitelstve.html> (дата обращения: 07.05.2025).
2. Подготовительные процессы при обогащении полезных ископаемых. Дробление, измельчение, грохочение и классификация [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / А. Н. Корчевский, Е. И. Назимко, Л. И. Серафимова, В. Г. Наumenко ; ГОУ ВПО "ДОННТУ". – 3 Мб. – Донецк : ДОННТУ, 2017. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. – <http://ed.donntu.ru/books/17/cd6581.pdf>
3. Методические рекомендации к выполнению курсового проекта по дисциплине базовой части учебного плана «Подготовительные процессы обогащения (дробление, грохочение, измельчение, классификация)» [Электронный ресурс] : для обучающихся уровня профессионального образования «специалист» по направлению подготовки 21.05.04 «Горное дело» специализации «Обогащение полезных ископаемых» всех форм обучения / ГОУВПО ДОННТУ, Каф. обогащения полезных ископаемых ; сост. А. Н. Корчевский. – 800 Кб. – Донецк : ГОУВПО ДОННТУ, 2020. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. – <http://ed.donntu.ru/books/20/m5137.pdf>

УДК: 622.23.05

СОЗДАНИЕ МАКЕТА УСТРОЙСТВА ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ НА ЗАБОЙНОМ УСТРОЙСТВЕ ПОДАЧИ ДОЛОТА

Г.В. Самойлик, Р.Д. Тризна, М.И. Ахмадеев

Санкт-Петербургский Горный университет Императрицы Екатерины II, Институт
базового инженерного образования
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация Исследование посвящено проблеме снижения эффективности бурения глубоких и наклонных скважин из-за трения в системе «колонна–стенка». Анализ данных машинного обучения и численного моделирования выявил нелинейную связь между трением, осевой нагрузкой и скоростью проходки. Разработана система на базе Arduino с ШИМ-регулированием двигателей для точного контроля подачи долота.

Abstract The study focuses on the problem of reduced efficiency in drilling deep and directional wells due to friction in the "drill string–wellbore" system. Analysis of machine learning data and numerical modeling revealed a nonlinear relationship between friction, axial load, and penetration rate. A system based on Arduino with PWM-controlled motors was developed for precise bit feed control.

Ключевые слова Скважины, бурение, долото, технологии, двигатель, устройство.

Key words Wells, drilling, drill bit, technologies, engine, device.

В процессе сооружения глубоких и пространственно сложных (наклонно-направленных) скважин возникают трибологические взаимодействия между бурильной колонной и стенками ствола, вызываемые контактным трением. Силы сопротивления могут достигать величин, сопоставимых или превышающих гравитационную составляющую массы колонны, что приводит к критическому снижению эффективной осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент. Это явление вызывает деградацию скорости проходки вплоть до нулевых значений, что соответствует остановке технологического процесса. Параллельно наблюдается рост риска дифференциального прихвата бурового снаряда, происходящий из-за геомеханической неустойчивостью ствола, дисфункцией

транспортировки шлама и реологическими аномалиями бурового раствора.

С углублением бурильной колонны начинают преобладать динамические процессы, включая резонансные колебания. Это приводит к нестационарному контакту долота с забоем и локальному перенапряжению режущих структур, что катализирует абразивный и усталостный износ инструмента. Трение в системе «колонна–стенка скважины» создает потери энергии, искажая передачу управляющих усилий, особенно в зонах искривления траектории, где нарушается кинематическая связь между поверхностным оборудованием и забоем. Это осложняет точное дозирование нагрузки на долото, критически важное для управления процессом разрушения породы.

Технология бурения в данных условиях представляет собой многокритериальную задачу оптимизации, где взаимовлияние формирует нелинейную систему с высокой степенью неопределенности. Для достижения поставленных целей и решения задач исследования предлагается использовать следующие методы и методологии: [1]

1. Анализ данных с применением алгоритмов машинного обучения и статистической инференции, последующее декомпозирование экспериментальных данных и выявление скрытых паттернов. Использование специализированных программных платформ для обеспечения обработки многомерных параметров - осевой нагрузки, крутящего момента и реологических свойства бурового раствора. Формирование эмпирических корреляции между трением в стволе, подачей долота и скоростью проходки. [2]

2. Моделирование цифровых двойников процесса бурения на базе методов вычислительной механики с конечно-элементным и гидродинамическим моделированием. Эти инструменты воспроизводят распределение контактных сил в наклонно-направленных стволах, динамику транспортировки шлама и термодинамические эффекты, а калибровка моделей по данным геонавигации и каротажа позволит прогнозировать поведения системы при изменении литологии или траектории. [3]

3. Сравнительный анализ технологий, базируемый на многоцелевых методах принятия решений, где оценивается эффективность роторных, турбинных и гидравлических систем подачи долота через количественные метрики, механическую удельную энергию и износостойкость инструмента. Риск-ориентированный подход дополнит анализ расчетом вероятности аварийных сценариев,

таких как обрушение ствола и поломка нижней части бурильной колонны. [4]

Результаты исследования подтвердили, что стохастическая природа формирования оптимальной осевой нагрузки на долото при бурении глубоких и наклонно-направленных скважин обусловлена нелинейным взаимодействием трибомеханических, гидродинамических и геомеханических факторов. Экспериментальные данные продемонстрировали, что силы сопротивления, возникающие на контактных поверхностях «бурильная колонна – стенка скважины», индуцируют анизотропное распределение энергии в системе. Это провоцирует операционные нестабильности, включая резкие колебания из-за резонансных вибраций колонны, а также нарушение кинематической связи между поверхностным оборудованием и забоем. Подобные явления снижают равномерность подачи долота, особенно в зонах искривления траектории, что негативно влияет на скорость проходки и повышает риски аварийных сценариев. [5]

Работа авторов сфокусирована на разработке технологий, направленных на минимизацию энтропии процесса через прецизионный контроль нагрузки на долото и оптимизацию интерфейса «колонна–стенка». Внедрение адаптивных систем управления с обратной связью от датчиков вибрации, крутящего момента и телеметрии забойных условий позволило компенсировать трибологические потери. Параллельно исследуются реологически управляемые буровые растворы и геометрия труб с пониженным коэффициентом трения, что снижает энергетические дисбалансы. Интеграция цифровых двойников обеспечивает прогнозирование аномалий в режиме реального времени, формализуя взаимосвязь между трением, равномерностью подачи и через многомерные регрессионные модели.

Представленная схема (Рисунок 1) реализует систему управления двумя коллекторными электродвигателями постоянного тока на базе микроконтроллерной платформы Arduino. Управляющие сигналы формируются через широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) с использованием двухканального драйвера, обеспечивающего регулировку скорости и направления вращения роторов. В качестве устройства ввода задействован аналоговый джойстик, конструктивно основанный на двух ортогональных потенциометрических датчиках, оси X и Y которых связаны с декартовой системой координат.

Аналоговый сигнал с джойстика оцифровывается встроенным АЦП Arduino с разрешением 10 бит, что определяет рабочий диапазон

значений по каждой оси от -512 до +512 (дискретизация напряжения 0–5 В). [6]

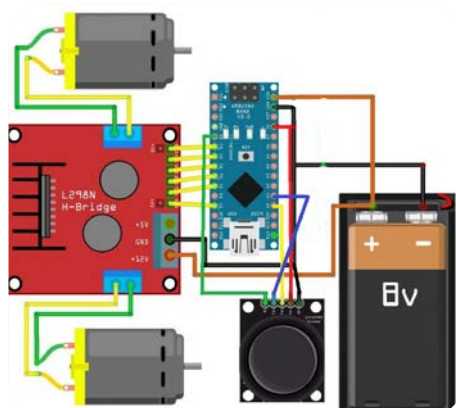


Рисунок 1 – Схема макета системы

Каждая ось джойстика (X, Y) связана с отдельным двигателем через микроконтроллерную платформу Arduino. При отклонении джойстика в положительном или отрицательном направлении по оси X генерируется сигнал, пропорциональный углу отклонения, который преобразуется в ШИМ-импульсы с переменным коэффициентом заполнения. Эти импульсы, в свою очередь, управляют Н-мостовой схемой драйвера двигателя, обеспечивая реверсивное вращение с регулируемой скоростью. Аналогичный принцип применяется для оси Y, что позволяет независимо или синхронно управлять двигателями, реализуя сложные траектории движения за счет дифференциального изменения скоростей. [7]

Разработанные решения релевантны для задач управления осевой нагрузкой на долото в условиях нестабильности ствола скважин. Неопределенность в передаче усилия на забой, вызванная трибологическими взаимодействиями и динамическими колебаниями колонны, коррелирует с проблемой точного управления двигателями в предложенной схеме. Аналогично тому, как ШИМ-регулирование обеспечивает контроль скорости и направления вращения, адаптивные алгоритмы на базе микроконтроллеров могут быть применены для стабилизации осевого давления. [8]

Результаты исследования подтверждают, что стохастическая неопределенность в достижении оптимальной осевой нагрузки на долото при бурении глубоких и направленных скважин является критическим фактором, обусловленным нелинейным взаимодействием трибомеханических, геомеханических и гидродинамических процессов. Силы сопротивления, возникающие на интерфейсе «долото–горная порода», формируют зоны локального трения, которые

индуцируют неравномерное распределение энергии в системе. Это приводит к колебаниям осевой нагрузки, нарушающим стабильность подачи инструмента на забой, что напрямую коррелирует с деградацией механической скорости бурения. Анализ данных выявил, что вариативность нагрузок усиливается в гетерогенных геологических средах, где чередование пластов с разной твердостью и абразивностью создает дополнительные диссипативные потери. [9]

Исследование вносит вклад в развитие методологии управления нелинейными системами в условиях геомеханической неопределенности. Полученные данные актуальны для научного сообщества, предоставляя эмпирически верифицированные модели взаимосвязи трения, нагрузки на долото и скорости бурения.

Перспективы работы связаны с масштабированием технологий на сложнопостроенные скважины (горизонтальные, многозабойные), где риски нестабильности осевой нагрузки максимальны. Дальнейшие исследования в области адаптивной роботизации буровых процессов и разработки материалов с программируемыми трибологическими свойствами могут радикально повысить эффективность и безопасность горнопромышленного бурения, что критически важно для устойчивого развития энергетического сектора. [10]

Перечень ссылок

1. Буслаев Г.В., Турьев И.А. Забойное устройство многофункционального назначения // IV Научно-практическая конференция молодых специалистов «Современные технологии газовой отрасли», 26–31 марта 2006 г.: тезисы докладов. – ООО «Севергазпром», 2006. – С. 27.
2. Буслаев В. Ф., Буслаев Г. В., Андронов И. Н., Кузнецов Н. И., Нестер Н. И. Забойное устройство подачи долота: пат. 55848 Российская Федерация: МПК7 E21B 19/08 / заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Ухтинский государственный технический университет. – № 2006110739/22; заявл. 03.04.2006; опубл. 27.08.2006, Бюл. № 24. – с. 7.
3. Буслаев Г. В., Буслаев В. Ф., Лужилов Д. А., Кузнецов Н. И., Горбиков А. Н., Мануйлов А. В., Нестер Н. И., Миленский А. М. Результаты испытания многофункционального забойного устройства подачи долота ЗУПД-195 // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2007. – № 11. – С. 32–34. – Библиогр.: 3 назв.
4. Куншин А. А., Буслаев Г. В., Райх М., Ульянов Д. С., Сидоркин Д. И. Численное моделирование нелинейных процессов в системе «Подруливающее устройство — Забойный двигатель — Долото» при бурении скважин с большим отходом от вертикали // Энергии. – 2023. – Т. 16. – с. 3759.
5. Буслаев Г.В., Павлов М.М., Куншин А.А., Стариков В.В., Сергеев Г.М. Опыт применения искусственных нейронных сетей для прогнозирования оптимальных параметров режима бурения скважин // Научный журнал Российского газового общества. – 2019. – № 2 (21). – С. 51-55.

6. Молоканов Д.Р., Буслаев Г.В. Вопросы и способы снижения сил сопротивления при бурении горизонтальных скважин // Инженер-нефтяник. – 2008. – № 3. – С. 16-17.

7. Буслаев Г.В., Павлов М.М., Куншин А.А., Стариков В.В. Прогнозирование и предупреждение осложнений в процессе бурения при помощи методов искусственного интеллекта и машинного обучения // Научный журнал Российского газового общества. – 2021. – № 2 (30). – С. 38-43.

8. Буслаев Г.В., Куншин А.А., Стариков В.В. Исследование влияния удельной механической энергии на подбор оптимальных параметров режима бурения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2020. – № 6 (330). – С. 10-13.

9. Студенский М.Н., Буслаев Г.В., Абдулин Р.Р., Шалимов Ю.А. Профиль горизонтальной скважины при неглубоком заложении ствола и использовании буровых установок с наклонным ставом // Инженер-нефтяник. – 2007. – № 2. – С. 17-19.

10. Литвиненко В. С., Двойников М. В. Методика определения параметров режима бурения наклонно прямолинейных участков скважины винтовыми забойными двигателями // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 105.

УДК 534-16:622.67:69.058.8

АКУСТИЧЕСКИЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ ГОРНОШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Сидак И.Л.

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт «Реактивэлектрон»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. Рассмотрены результаты исследований при акустическом контроле деталей горно-шахтного оборудования для повышения безопасности работ.

Ключевые слова: акустический контроль, частота, пьезокерамика, пьезодатчик.

Annotation. The results of studies during acoustic control of mining equipment parts to improve work safety are considered.

Keywords: acoustic control, frequency, piezoelectric ceramics, piezosensor.

При сложных нагрузках конструкций в реальных эксплуатационных условиях (растягивающих, изгибных, сдвиговых и пр.) осложненных вибрациями, центры развития разрушений материала могут находиться в любой области изделия. При критических нагрузках рост трещин в данном материале происходит со сверхзвуковой скоростью и, как правило, приводит к аварийному разрушению конструкции.

Скиповая и лифтовая клетки подсоединяются к подъемному устройству (канатам) 4 тягами. В процессе подъема клетки из-за перекосов ствола, различной упругости канатов нагрузка на тяги не равномерна. В результате на одной из тяг могут возникнуть запредельные нагрузки, приводящие к разрушению конструкции. Поэтому необходимо постоянно проводить мониторинг нагрузки на тягах подъемных устройств и при обнаружении возникновения перегрузок оперативно принимать меры для их устранения. Контроль возникновения и накопления дефектов в конструкциях повышенной опасности в процессе их эксплуатации – одна из важнейших задач.

Для непрерывного контроля нагрузки на тягах подъемных устройств может быть использована методика как шумодиагностического, так и метода акустической эмиссии. Выбор методики зависит от наличия соответствующей автоматизированной аппаратуры регистрации акустических сигналов.

Основными факторами воздействующими на элементы конструкции подвешеного устройства являются – механический износ, коррозионный износ, технологические дефекты, сложный изгиб.

Для решения задач и параметров акустического контроля нагруженного состояния конструкций в качестве детектора акустических спектров использовалась система акустического контроля состояния угольных пластов «Геофон».

Целью исследований являлось определение наиболее эффективного расположения датчика и места механического возбуждения колебаний, а также определение диапазона рабочих частот, позволяющих однозначно определять состояние конструкций (трещины, величину растягивающей нагрузки, усталостные явления и др.).

Используя эхо-акустический метод, изучались акустические характеристики стального стержня, находящегося в свободном состоянии и установленного в захваты разрывной машины с увеличением нагрузки на него. В качестве образца использовали стальной стержень длиной $l = 2830$ мм, диаметром $d = 44,5$ мм, массой $m = 30,33$ кг, изготовленный из стали ХН40, имеющей динамический модуль Юнга $\bar{E} = 1,989 \cdot 10^6$ кгс/см². Пьезоэлектрический датчик системы «Геофон» крепили на поверхности стального стержня и в его торце. Ударником наносили периодические удары по стержню в трёх точках: в торец, в среднюю часть длины стального стержня и в 20 мм от торца, с автоматической записью возбужденных акустических сигналов на регистратор системы «Геофон».

В соответствии с теорией сопротивления материалов при возрастании нагрузки на конструкцию ее собственные резонансные частоты (продольные, поперечные) и изгибные колебания должны возрастать. В результате проведенных исследований был обнаружен следующий эффект – при увеличении нагрузки на конструкцию в области низких частот возрастает амплитуда колебаний.

Исходя из экспериментальных данных, найдена зависимость резонансной частоты собственных продольных акустических колебаний стержня от приложенной растягивающей нагрузки, которая описывается следующим эмпирическим уравнением:

$$\nu_l = 9,214 \cdot 10^{-3} \left(\bar{E} + \frac{636,3 \cdot Q \cdot g}{s} \right)^{12},$$

где $\bar{E}$ – динамический модуль Юнга, с учетом коэффициента пересчета $1 \text{ ГПа} = 1,02 \cdot 10^4 \text{ кгс/см}^2$ для стали ХН40 $\bar{E} = 195 \text{ ГПа}$; Q – растягивающая нагрузка [кг]; g – ускорение свободного падения [м/с^2]; s – площадь поперечного сечения стержня [м^2]; коэффициент $-9,214 \cdot 10^{-3} [\text{м}^{1/2} \cdot \text{кг}^{-1/2}]$.

Результат расчета зависимости частоты моды собственных продольных колебаний от приложенной к стержню растягивающей нагрузки приведен на рисунке 1.

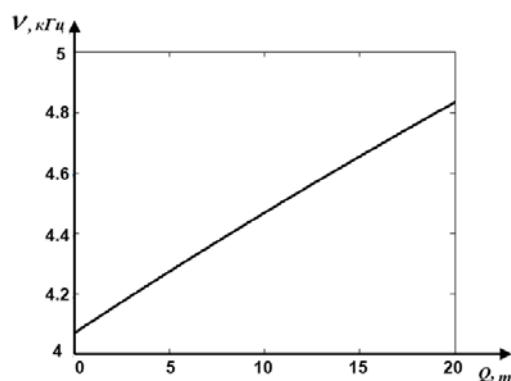


Рисунок 1 – Зависимость частоты собственных продольных колебаний от приложенной растягивающей нагрузки

Экспериментально установлено, что при увеличении нагрузки на конструкцию в области частот 4-5 кГц возрастает амплитуда и частота собственных колебаний, что позволяет осуществлять контроль нагруженного состояния конструкций. Этот эффект зарегистрирован на спектрограммах, записанных в электронном виде. Чувствительность резонансной частоты моды собственных продольных колебаний на рабочем интервале нагрузок является весьма высокой и в среднем составляет 39,87 Гц/т.

Анализ акустических откликов тяг подъемных устройств позволил четко идентифицировать износ и дефектность объектов по сравнению с исходной, бездефектной конструкцией. Изменение формы отдельно взятого продольного резонанса (снижение амплитуды и размытие пика и увеличения декремента затухания) отвечает появлению множественных мелких дефектов и накоплению усталостных напряжений. Уширение резонансного пика продольных колебаний происходит из-за того, что скорость акустической волны изменяется в зависимости от величины внутреннего механического напряжения. Поперечные моды колебаний несут информацию о дефектах (трещины), расположенных вдоль стержня или другой конструкции (тяги). Вероятно, что частоты поперечных мод колебаний будут более чувствительны к величине нагрузки приложенной к объекту. Для каждой контролируемой конструкции подвесного устройства (тяги, валы и др.) необходимо создать базу данных акустических сигналов для вновь изготовленной или отремонтированной детали, которые прошли акустический контроль у изготовителя согласно нормативно-техническим документам. В этой же базе данных необходимо иметь эталоны акустических сигналов, являющихся критерием браковки

контролируемых элементов подвесных устройств, при наличии в них дефектов.

Акустическое согласование пьезодатчика и конструкции является одним из основных требований, предъявляемых к системам акустического контроля. Изготовлен ряд модифицированных пьезоматериалов и пьезоэлементов для комплектации пьезодатчиков и пьезоэлектрических преобразователей. Материал подбирали соответствующим следующим требованиям: высокая пьезочувствительность, высокая устойчивость к температурным воздействиям и как следствие – высокая температура точки Кюри, минимальное содержание легирующих добавок, температура спекания не выше 1150°C и другие. Таким требованиям удовлетворяет сегнетомягкий пьезокерамический материал состава $0,98\text{Pb}(\text{Zr}_{0,52}\text{Ti}_{0,48})\text{O}_3 + 0,02\text{Bi}(\text{Ni}_{1/3}\text{W}_{1/3})\text{O}_3$ [1]. Полученный пьезоматериал, позволит изготавливать высокочувствительные датчики, пригодные для проведения дальнейших исследований, в том числе, пьезоэлементов для макетов пьезопреобразователей стенда мониторинга нагруженного состояния конструкций повышенной опасности для горной промышленности.

Выводы. Проведен теоретический анализ зависимости собственной частоты продольных колебаний конструкций от величины внешней нагрузки. Выполнены теоретические расчеты установленной зависимости для различных шахтных конструкций повышенной опасности (тяги и валы). Разработанные в «Реактивэлектрон» пьезоэлементы и пьезодатчики обладают высокой чувствительностью и могут быть рекомендованы для использования в промышленных системах мониторинга нагруженного состояния и интегральной дефектоскопии конструкций повышенной опасности [2].

Перечень ссылок

1. Спиридонов, Н.А. Пьезокерамика для неразрушающего контроля конструкций повышенной опасности угольных шахт / Н.А. Спиридонов, В.Ф. Раков, И.Л. Сидак, В.М. Погибко, Дорофеева В.В. // 4-я Международная научно-практическая конференция «Инновационные перспективы Донбасса», г. Донецк, 22-25 мая 2018 – Донецк: ДОННТУ, 2018. – Том 4. Перспективные направления развития экологии и химической технологии. – 2018. – С. 44-48.

2. Сидак И.Л. Интегральная дефектоскопия конструкций шахтных подъемных установок. / И.Л. Сидак, В.М. Погибко, О.А. Демченко. // 5-я Международный Научный форум Донецкой Народной Республики. – Том 1: Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве, 21-23 мая 2019. – Донецк: «Донецкая политехника». – С. 25-29.

УДК 622.012.2:658.011.56

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СКВАЖИН И ПОДЗЕМНЫХ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НЕФТЕШАХТЫ
С ЦЕЛЮ ПРОГНОЗА ПУТЕЙ МИГРАЦИИ
ЗАКАЧИВАЕМОГО ПАРА**

В.Б. Скаженик¹, И.Н. Шестопапов², И.В. Чернышенко¹

¹ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Донецк, ДНР

²НШПП «ЯРЕГАНЕФТЬ» ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»,

г. Ухта

Аннотация. Рассмотрены вопросы создания пространственных и нейросетевых моделей нефтяной шахты. Отмечены основные проблемы при подземной разработке нефтяного месторождения. Показано использование пространственных и нейросетевых моделей для обоснования принимаемых решений.

Annotation. The issues of creating spatial and neural network models of an oil mine are considered. The main problems in underground development of an oil field are noted. The use of spatial and neural network models for substantiating decisions is shown.

Ключевые слова: подземная разработка, нефтяная шахта, пространственная модель, нейросетевая модель.

Keywords: underground mining, oil mine, spatial model, neural network model.

Современные тенденции внедрения информационных технологий при разработке месторождений полезных ископаемых ориентированы на создание пространственных моделей и применение нейросетевых моделей. Особую значимость представляет моделирование сложных объектов, принятие оперативных и правильных решений по разработке которых происходит в условиях неопределенности горно-геологических факторов, влияющих на эффективность разработки месторождения.

Одним из таких объектов является Ярегское месторождение нефти, разрабатываемое уникальным для нефтедобычи подземным шахтным способом с использованием термического воздействия на пласт. На месторождении разрабатывается пласт кварцевого песчаника, насыщенного высоковязкой нефтью. Мощность пласта – до 30 м, глубина залегания – около 200 м. В качестве объекта моделирования рассматривался один из уклонных блоков

месторождения. В пределах блока пласт вскрыт двумя уклонами. Пласт разбурен пологонаклонными добычными скважинами из нижней части нефтяного пласта. Длина скважин достигает 1200 м. По периметру блока с поверхности пробурены паронагнетательные скважины. Ширина блока – около 1000 м. Основная проблема при эксплуатации блока заключается в нарушении температурного режима в горных выработках и прорыве пара в горные выработки. Для эффективной нефтеотдачи пласт необходимо разогреть до температуры 80-90°C. Однако при увеличении температуры и давления пара возрастает вероятность неконтролируемой миграции пара через возникающие в массиве трещины, что в конечном итоге негативно влияет на состояние рудничной атмосферы, приводит к прорывам пара, а также к увеличению себестоимости добываемой нефти за счет повышения объемов закачиваемого теплоносителя. Неконтролируемая миграция пара возможна также по множеству техногенных пустот, образованных в результате многолетней разведки и разработки месторождения. Наличие пара в окрестностях горных выработок влияет на крепость и устойчивость вмещающих горных пород, что приводит к дополнительным затратам на ремонт и поддержание горных выработок.

Особенности термошахтной разработки высоковязкой нефти и способы решения задачи расчета теплового режима нефтешахты рассмотрены в ряде работ отечественных авторов [1–3]. В этих работах отмечается целесообразность данной технологии и выделяются проблемы управления тепловым режимом.

Несмотря на проработанность эмпирических и аналитических методов расчета теплового режима рудничной атмосферы их практическое использование для управления режимом закачки теплоносителя в условиях нефтешахты ограничено. Прежде всего это связано с недостатком информации относительно состояния горного массива (природная трещиноватость, нарушенность горного массива сетью скважин различного назначения и старыми горными выработками). В таких условиях невозможно оценить возможные пути миграции закачиваемого пара и, соответственно, невозможно рассчитать перераспределение теплового потока и вероятные места прорыва пара в горные выработки.

В этой связи одним из путей повышения достоверности принимаемых решений может быть использование пространственных моделей уклонных блоков месторождения, отражающих конфигурацию нефтесодержащего пласта, сеть действующих горных выработок; сеть старых горных выработок туффитового горизонта;

сеть поверхностных и подземных паронагнетательных скважин; сеть добычных скважин; геологические нарушения и трещиноватость горного массива.

Цель данной работы заключалась в создании 3D-графической модели уклонного блока месторождения, отражающей все известные факторы, влияющие на возможные пути миграции пара. За счет аккумуляции в модели знаний об исследуемом объекте возможно оценить причины перераспределения теплоносителя в массиве горных пород и на этой основе усовершенствовать прогноз влияния режимов закачки пара на состояние рудничной атмосферы.

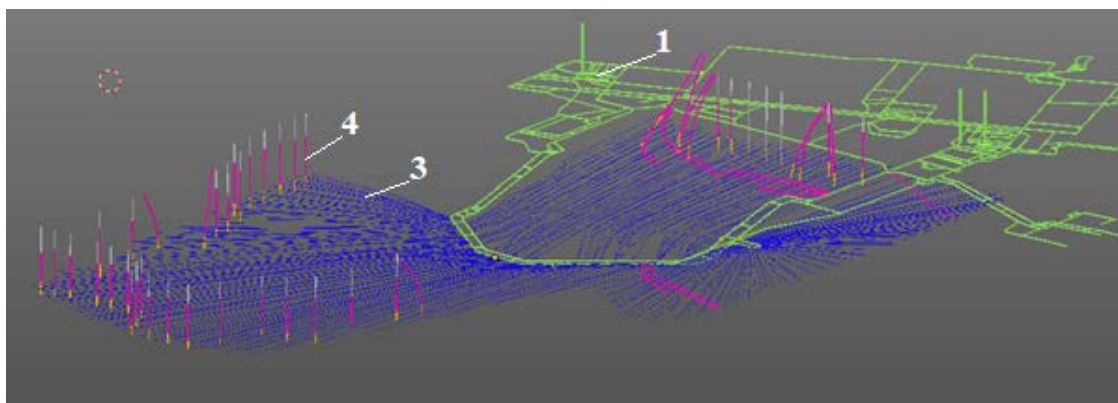
Для построения пространственной модели блока использовалось авторское программное обеспечение «Шахта 3D» [4] и свободно распространяемое программное обеспечение Blender (<https://www.blender.org/>).

Перечень основных объектов, отраженных в модели, представлен в таблице.

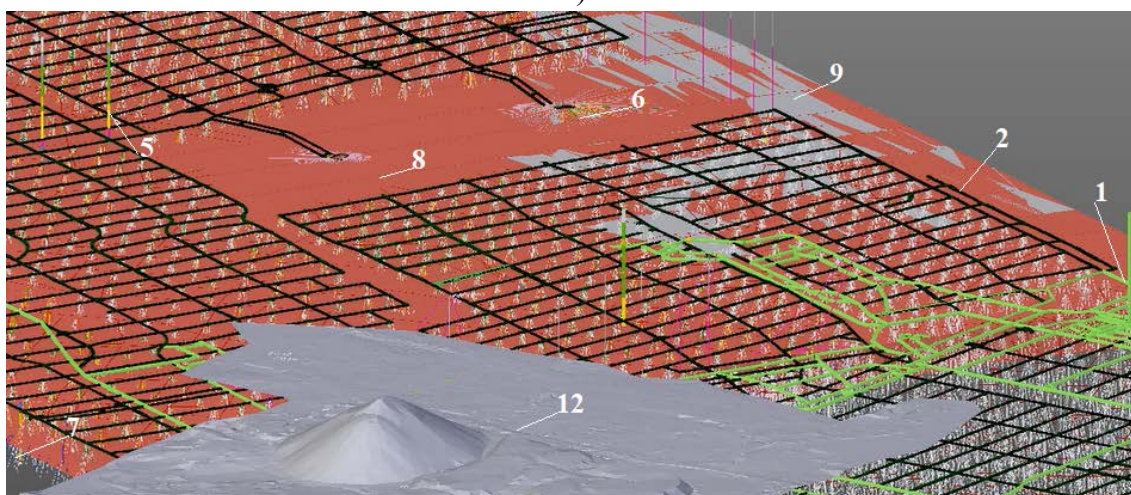
Таблица – Объекты пространственной модели нефтешахты

№ пп	Наименование объекта	Количество объектов
1	Существующие горные выработки	280
2	Горные выработки туффитового горизонта	840
3	Добычные скважины	336
4	Паронагнетательные скважины	49
5	Разведочные скважины	31
6	Добычные скважины старых уклонов («Ухтинская» система)	1534
7	Добычные скважины туффитового горизонта («Ухтинская» система)	22000
8	Нефтесодержащий пласт (количество разрезов)	22
9	Глинистые включения нефтесодержащего пласта	20
10	Разрывные нарушения (по данным микросейсмического мониторинга)	700
11	Геологические нарушения (по данным эксплуатационной разведки туффитового горизонта)	538
12	Земная поверхность	1

На рис. представлена разработанная модель с указанием номеров построенных объектов.



а)



б)

Рисунок – Пространственная модель нефтешахты: а) сеть добычных и паронагнетательных скважин; б) общий вид модели (номера объектов соответствуют порядковому номеру в таблице)

С целью анализа возможных путей миграции пара разработано программное обеспечение, позволяющее выделить сближение траекторий добычных скважин и старых скважин «Ухтинской» системы разработки. В представленной модели наблюдается 1725 сближений траекторий скважин в пределах 0,5 м. Такие ситуации характеризуются высокой вероятностью возникновения проводящего парового канала, по которому теплоноситель может мигрировать на выработки туффитового горизонта.

Из-за значительной разбуренности горного массива и высокой трещиноватости вмещающих пород спрогнозировать пути миграции пара на основе классических методов расчета не представляется возможным.

В этой связи предлагается использовать нейросетевые модели для поиска взаимосвязей между входными (объем закачки пара в

паронагнетательные скважины) и выходными параметрами (температура нефтесодержащей жидкости в добычных скважинах).

Для обучения нейросетети использовалась статистическая информация (наблюдения за 527 дней). После обучения осуществлялась имитация работы нейронной сети для прогноза температуры нефтесодержащей жидкости в зависимости от объемов закачки пара. Результаты сопоставления прогнозных и фактических данных свидетельствуют о принципиальной возможности установления искомых взаимосвязей с использованием нейросетей и управления на этой основе режимом закачки пара.

Выводы. Пространственное моделирование объектов нефтешахты позволило установить возможные причины неконтролируемой миграции теплоносителя. Использование моделей для анализа возможных вариантов распределения теплоносителя в горном массиве в каждом конкретном случае может способствовать принятию более адекватных решений по управлению режимами закачки пара.

Для рассматриваемого объекта с целью установления взаимосвязей между режимом закачки пара и температурой нефтесодержащей жидкости в добычных скважинах целесообразно использование нейросетевых моделей. Для повышения достоверности прогноза необходим сбор дополнительной статистической информации о работе блока и анализ влияния каждой паронагнетательной скважины на параметры добываемой нефтесодержащей жидкости. В результате такого анализа в краткосрочном периоде возможно прогнозировать пути миграции пара и корректировать режим закачки пара.

Перечень ссылок

1. Гендлер С. Г. Результаты экспериментальных исследований теплового режима нефтяных шахт при термическом способе добычи нефти / С. Г. Гендлер, И. Р. Фазылов, А. Н.Абашин. — ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень, № 6–1, 2022. — С. 248–260.
2. Морозюк О. А. Анализ разработки Ярегского месторождения по термошахтной технологии // Нефтепромысловое дело. – 2010. - № 11. – С. 45–52.
3. Фомин А.И. Особенности разработки Ярегского месторождения тяжелой нефти // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности : научно-технический журнал / Акционерное общество "Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли". – 2019. – № 1. – С. 75-81. DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.30.36.007
4. Скаженик В.Б. Проектирование разработки месторождений на основе компьютерного моделирования // Известия Донецкого горного института. - 2011. - № 1. - С. 8-14.

УДК 159.944.3: 614.872.5: 624.21.042.8: 625.032.435: 629.3.015.5

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ
«КОМФОРТНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»
И «БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ» НА АВТОДОРОЖНЫХ
МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ**

И.А. Чмерев, Н.С. Шаповалов, Д.В. Демидов
ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Екатеринбург, Россия

А.А. Мальцева

ФКУ «УРАЛУПРАВТОДОР», г. Екатеринбург, Россия

***Аннотация.** В статье представлена содержательная часть методики оценки потребительских свойств «комфортность движения транспортных средств» и «безопасность движения» на автодорожных мостовых сооружениях.*

***Annotation.** The article presents the substantive part of the methodology for assessing the consumer properties of «comfort of vehicle movement» and «traffic safety» on road bridge structures.*

***Ключевые слова:** безопасность движения, комфортность движения, мостовое сооружение, резонанс*

***Keywords:** traffic safety, traffic comfort, bridge construction, resonance*

Обучающиеся ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (направление 08.04.01 «Строительство», профиль – «Автодорожные мосты и тоннели») разработали содержательную часть методики оценки для автодорожных мостовых сооружений потребительских свойств «комфортность движения транспортных средств» и «безопасность движения» (п. 3 и п. 6 Прил. Б ГОСТ 33178-2014 [1]).

Цель методики: оценка потребительских свойств «комфортность движения транспортных средств» и «безопасность движения».

Область применения методики: рекомендуется к применению на автодорожных мостовых сооружениях.

Схема методики: методика является обобщенной, состоящей из последовательных частных методик, предусмотренных нормативными документами и известными теоретическими положениями (рис.).

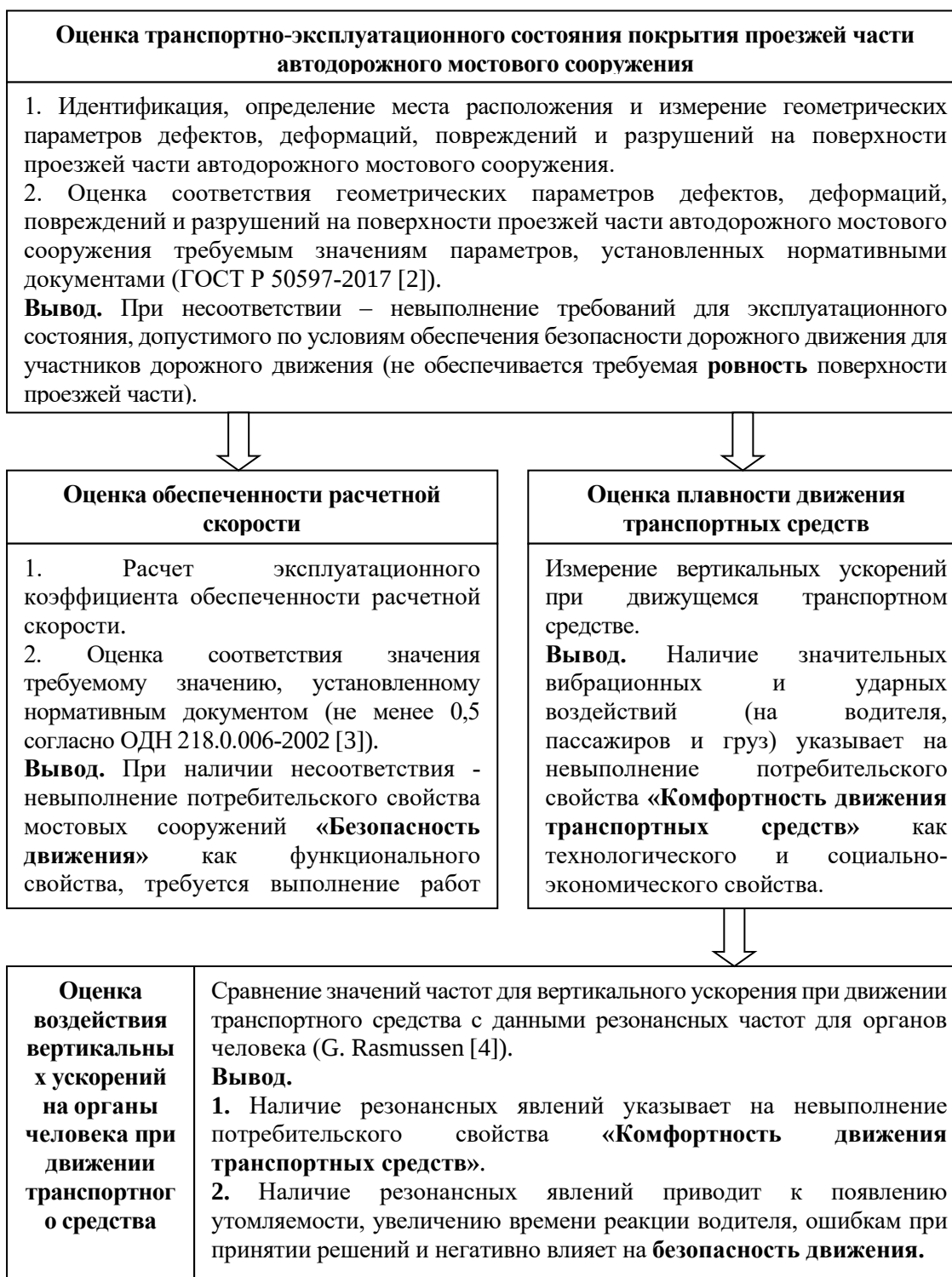


Рис. Схема методики оценки потребительских свойств «комфортность движения транспортных средств» и «безопасность движения» на автодорожных мостовых сооружениях (предлагается)

Показатели-индикаторы, применяемые в методике:

- 1) фактическая скорость движения транспортных средств;
- 2) дефекты, деформации, повреждения и разрушения на поверхности проезжей части автодорожного мостового сооружения, указывающие на неудовлетворительное транспортно-эксплуатационное состояние покрытия как элемента конструкции в составе дорожной одежды;
- 3) амплитудно-частотные характеристики колебаний при изменяемой скорости движения автотранспортного средства.

Так, критерии комфортности движения для водителей автотранспортных средств выделены в работе А.А. Мальцевой и Д.В. Демидова [5].

Результат применения методики:

- заключение о выполнении (или) невыполнении потребительских свойств (безопасность и комфортность движения) на автодорожном мостовом сооружении;
- вывод о необходимых мероприятиях, направленных на обеспечение потребительских свойств (безопасность и комфортность движения) на автодорожном мостовом сооружении.

При применении методики необходимо учитывать, что основная ее идея заключается в связи показателей утомляемости водителей, которая заметно влияет на время их реакции, и показателей транспортно-эксплуатационного состояния покрытия проезжей части автодорожных мостовых сооружений (рис.). Утомление водителей приводит к снижению способности прогнозировать опасные дорожно-транспортные ситуации и своевременно принимать решение при управлении движущимся автомобилем, что зачастую приводит к дорожно-транспортным происшествиям.

Перечень ссылок

1. ГОСТ 33178-014. Дороги автомобильные общего пользования. Классификация мостов: Межгос. стандарт / Введ. 2015-12-01. М.: Стандартиформ, 2015. II, 21 с.
2. ГОСТ Р 50597-2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля: Нац. стандарт Российской Федерации / Введ. 2018-06-01. М.: Стандартиформ, 2017. III, 28 с.
3. ОДН 218.0.006-2002. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог: Отраслевые дорожные нормы / Введ. 2017-07-01. М.: Росавтодор, 2002. 137 с.
4. Rasmussen G. Human body vibration exposure and its measurement / Technical Review; Bruel & Kjaer. 1982. № 1. P. 3-31.
5. Мальцева А.А., Габсаликов И.Р., Демидов Д.В. Критерии комфортности движения для водителей автотранспортных средств // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XX Всероссийской (национальной) научно-техн. конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. С. 1027-1031. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/13148>.

УДК 159.944.3: 614.872.5: 624.21.042.8: 625.032.435: 629.3.015.5

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТРАНСПОРТНО-
ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ПОКРЫТИЯ
ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВЫХ
СООРУЖЕНИЙ НА КОМФОРТНОСТЬ
И БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ**

Н.С. Шаповалов, И.А. Чмерев, Д.В. Демидов
ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Екатеринбург, Россия

А.А. Мальцева

ФКУ «УРАЛУПРАВТОДОР», г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты проведенной в 2024 году оценки обеспечения потребительских свойств «комфортность движения транспортных средств» и «безопасность движения» для автодорожного мостового сооружения (путепровод через железнодорожные пути, г. Екатеринбург, микрорайон Лечебный, пер. Низовой).

Annotation. The article presents the results of an assessment conducted in 2024 of the provision of consumer properties «comfort of vehicle movement» and «traffic safety» for an automobile bridge structure (overpass over railway tracks, Yekaterinburg, Medical district, lane Low).

Ключевые слова: безопасность движения, комфортность движения, мостовое сооружение, резонанс

Keywords: traffic safety, traffic comfort, bridge construction, resonance

Для автодорожных мостовых сооружений среди потребительских свойств выделены следующие свойства (См. Прил. Б ГОСТ 33178-2014 [1]):

– безопасность движения – функциональное свойство; критерий оценки – обеспеченность расчетной скорости движения транспортных средств (п. 3);

– комфортность движения транспортных средств – технологическое и социально-экономическое свойство; критерий оценки – плавность движения (транспортного средства), отсутствие резонансных явлений (п. 6).

В период апреля и мая 2024 г. обучающиеся ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (направление 08.04.01 «Строительство», профиль – «Автодорожные

мосты и тоннели») провели оценку влияния транспортно-эксплуатационного состояния покрытия проезжей части автодорожного мостового сооружения на комфортность и безопасность движения.

Объект исследования – путепровод через железнодорожные пути, расположенный по адресу г. Екатеринбург, микрорайон Лечебный, пер. Низовой, был построен в 1966 г. (рис., вверху).



Рис. Фотоизображение путепровода: общий вид (вверху)
и вид на проезжую часть и тротуар (внизу)

Число полос движения по проектному решению – две. На момент осмотра объект имеет измененные габаритные параметры: для движения транспортных средств предусмотрена одна полоса, а для движения пешеходов – один тротуар, причем для тротуара используется частично полоса движения, поскольку часть путепровода находится в аварийном состоянии (рис., внизу).

Отметим, что данные о проведенных ремонтах и капитальных ремонтах путепровода отсутствуют.

При осмотре объекта была составлена ведомость дефектов, деформаций, повреждений и разрушений, для которых проведена

оценка их соответствия по условиям обеспечения безопасности дорожного движения в соответствии с ГОСТ Р 50597-2017 [2].

Были выявлены следующие недостатки транспортно-эксплуатационного состояния покрытия проезжей части: колеи и выбоины глубиной до 6,5 – 11 см, что не обеспечивает требуемую ровность поверхности проезжей части и плавность движения.

Спектр ускорения после преобразования Фурье (при движении легкового автомобиля со скоростью 5 и 20 км/час) показывает, что диапазон выявленных частот составляет 0 – 12 Гц (табл.).

Таблица

Воздействие на органы человека при частоте, выявленной при движении легкового автомобиля, в зависимости от скорости движения

Скорость движения, км/час	Воздействие на органы человека при частоте (Гц), выявленной при движении легкового автомобиля			
	0 - 8	9	10	11, 12
5	Не выявлено		Возможны: боли в области живота; позывы к мочеиспусканию	Не выявлено
20	Не выявлено	Возможны: общее чувство дискомфорта; мышечные сокращения; боли в области живота	Не выявлено	

Так, при скорости движения легкового автомобиля 5 км/час обнаруживается резонансная частота с органами человека, равная 10 Гц, которая согласно результатам исследований G. Rasmussen может вызвать симптомы, негативно влияющие на самочувствие человека-водителя: боли в области живота, позывы к мочеиспусканию [3].

При скорости движения 20 км/час обнаруживается резонансная частота 9 Гц, которая может вызвать следующие симптомы: общее чувство дискомфорта, мышечные сокращения, боли в области живота.

Таким образом, на автодорожном мостовом сооружении не обеспечивается критерий – отсутствие резонансных явлений, что указывает на необеспечение потребительского свойства мостового сооружения «Комфортность движения транспортных средств».

Наличие признаков негативного влияния на самочувствие человека-водителя при значительном времени действия влияет на утомляемость водителей, заметно увеличивая время реакции водителя, снижая способность к реагированию на опасные дорожно-транспортные ситуации.

Наблюдениями установлено, что значительная часть автотранспортных средств при движении по мостовому сооружению

проезжает со скоростью не более 20 км/час.

Эксплуатационный коэффициент обеспеченности расчетной скорости

$$K_{p.c.} = \frac{V_{факт}}{V_{расч}} = \frac{20}{50} = 0,4, \quad (1)$$

где $V_{факт} = 20$ км/час – фактическая максимальная скорость движения одиночного легкового автомобиля, обеспеченная дорогой по условиям безопасности движения или взаимодействия автомобиля с дорогой на участке;

$V_{расч} = 50$ км/час – расчётная скорость для конкретных категории дороги и рельефе местности; значение принято для улиц и дорог в производственной зоне согласно табл. 11.2 СП 42.13330.2016 [4].

Согласно табл. 5.1 ОДН 218.0.006-2002 для расчетной скорости $V_{расч} = 60$ км/час установлены значения $K_{p.c.} = 0,5$ (нормативное) и $K_{p.c.} = 0,38$ (предельно допустимое) [5].

Поэтому для расчетной скорости $V_{расч} = 50$ км/час будет действовать уменьшенное предельно допустимое значение $K_{p.c.}$.

Таким образом, на автодорожном мостовом сооружении не обеспечивается расчетная скорость движения, что указывает на необеспечение потребительского свойства мостовых сооружений «Безопасность движения».

Перечень ссылок

1. ГОСТ 33178-014. Дороги автомобильные общего пользования. Классификация мостов: Межгос. стандарт / Введ. 2015-12-01. М.: Стандартинформ, 2015. II, 21 с.
2. ГОСТ Р 50597-2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля: Нац. стандарт Российской Федерации / Введ. 2018-06-01. М.: Стандартинформ, 2017. III, 28 с.
3. Rasmussen G. Human body vibration exposure and its measurement / Technical Review; Bruel & Kjaer. 1982. № 1. P. 3-31.
4. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений: Свод правил / Введ. 2017-07-01. М.: Стандартинформ, 2017. IV, 85 с.
5. ОДН 218.0.006-2002. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог: Отраслевые дорожные нормы / Введ. 2002-10-03. М.: Росавтодор, 2002. 137 с.