



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

Способы и средства
создания безопасных и здоровых
условий труда в угольных шахтах

Выпуск № 1 (январь – март) (68) 2025

Макеевка

2025

**Государственный комитет по науке и технологиям
Донецкой Народной Республики**

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

***Способы и средства создания безопасных и
здоровых условий труда в угольных шахтах***

Сборник

Выходит 4 раза в год

Основан в декабре 1988 г.

Выпуск № 1 (январь – март) (68) 2025

**Макеевка
МАКНИИ
2025**

УДК 622.8.004.2

ISSN 2415-8585

Учредитель, редакция и изготовитель – *Государственное учреждение «Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности»*

СМИ зарегистрировано Министерством информации Донецкой Народной Республики: Свидетельство ААА № 000203 от 26.06.18 г.

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук Безбородов В.А.	– главный редактор
канд. техн. наук Диденко В.В.	– заместитель главного редактора
канд. техн. наук Кременев О.Г.	– ответственный секретарь
канд. техн. наук Гладков А.Ю.	– технический секретарь
д-р техн. наук Алабьев В.Р.	
д-р техн. наук Брюханов А.М.	
канд. техн. наук Диденко В.П.	
д-р техн. наук Долженков А.Ф.	
д-р техн. наук Канин В.А.	
д-р техн. наук Ковалев А.П.	
канд. техн. наук Лобода В.В.	– научный редактор
д-р техн. наук Медведев В.Н.	

Сборник включен в библиографическую базу данных Российского индекса научного цитирования (договор № 84-03/2018 от 07.03.2018 г.)

Подписан к печати по рекомендации Ученого совета МАКНИИ (протокол № 2 от 17.03.2025).

Освещаются вопросы состояния безопасности труда в угольных шахтах. Предлагаются меры для предупреждения несчастных случаев, улучшения санитарно-гигиенических условий труда в шахтах. Указываются перспективные направления для обеспечения безопасности горных работ.

Статьи, помещенные в сборнике, актуальны, посвящены современным проблемам снижения травматизма, содержат полезную информацию и практические рекомендации для инженерно-технических работников отрасли.

СОДЕРЖАНИЕ

I. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Тында Г.Б.

Метанообильность горных выработок в условиях изменяющейся скорости их проведения

Деменков А.И., Болтунов О.Г., Майбенко Н.И., Толстова А.В.

Об инертизации метановоздушной среды угольных шахт

Строев Н.Н., Кривоноженков М.В.

О влиянии шахтной депрессии на металлические копры вентиляционных стволов

II. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Деньга В.В., Белодед А.В., Терентьева Е.В., Белодед А.Г.

Об определении содержания хлористого натрия в эмульсионных взрывчатых веществах

Володин А.В., Гречка С.А.

Влияние ионной солевой модификации на обменные свойства цеолита в условиях динамической очистки многокомпонентного модельного раствора шахтных вод

Деревянский В.Ю., Деньга В.В.

Анализ применения полочных заслонов для локализации взрывов метанопылевоздушных смесей в угольных шахтах

Бондаренко А.Д.

О проведении выработок роторными комбайнами в породах различного генезиса, опасных по динамическим явлениям

III. ОХРАНА ТРУДА

Голик И.Ю.

О предотвращении аварийности и травматизма при передвижении установки подъемной автомобильной УПА-60/80 между водоотливными комплексами

Ямнюк Л.И.

Требования охраны труда при спуске-подъеме насосных агрегатов и труб установкой УПА-60/80 на гидрозащитных водоотливных комплексах

Лобода В.В., Белоносова Н.А., Верещагина Е.В., Манец Н.В.

Анализ причин появления аварийных ситуаций на передвижных винтовых компрессорных установках при их длительной эксплуатации в шахтных условиях

I. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 621.315.231:622.33.012

Г.Б. ТЫНДА, зав. отд., МАКНИИ, г. Макеевка

МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ СКОРОСТИ ИХ ПРОВЕДЕНИЯ

Исследована динамика изменения метановыделения вмещающих пород подготовительной горной выработки в условиях изменяющейся скорости ее проведения. Получены формулы для определения текущего метановыделения выработки, характеризующейся стабильным распределением источников метана по длине, после очередного изменения скорости подвигания забоя.

Ключевые слова: угольная шахта, скорость проведения горной выработки, источник метана, метановыделение.

Прогнозирование метановыделения объектов рассматривается в нормативных документах при условии, что параметры, влияющие на интенсивность эмиссии метана из природных источников, сохраняют в течение продолжительного промежутка времени относительную стабильность [1-3]. К таким параметрам выемочных участков и подготовительных выработок относятся: распределение природных источников метана в направлении развития горных работ, скорость подвигания очистного или подготовительного забоя, интенсивность процессов отделения горной массы от массива и ее транспортировка, размеры выработок, продолжительность отдельных технологических операций.

Однако в процессе работы шахты возникают ситуации, при которых необходимо прогнозировать текущий газовый баланс выработки в нестабильных условиях. В качестве примеров такой ситуации можно привести возникновение какой-либо техногенной аварии, нарушающей или полностью прекращающей технологический процесс. Нестабильность в работе объекта также возникает при встрече геологического нарушения.

Кроме того, метановыделение прогнозируется в горных выработках, проводимых вкрест напластованию горного массива и характеризующихся непостоянством распределения источников метана по длине выработки. Речь идет о вертикальных стволах, квершлагах, гезенках и т.д. Определение метановыделения этих объектов, приведенное в методике [3], обладает следующими недостатками:

- невозможность определения текущего метановыделения, что может потребоваться, в частности, при ликвидации аварии;
- не учитываются источники, участвующие в формировании метановыделения, оказавшиеся за пределами сечения горной выработки, но при этом находящиеся в зоне разгрузки массива, созданной этой выработкой;
- упрощенный подход при учете ширины зоны дренирования метана из угольного пласта в горную выработку.

На основании изложенного разработка метода прогноза метановыделения горной выработки в нестабильных условиях является актуальной.

Цель работы – исследование процесса формирования потоков метана в подготовительные горные выработки в условиях изменяющихся геологических характеристик источников метана и скорости проведения этих выработок для разработки метода прогноза динамики метановыделения.

Рассмотрим общий случай формирования зоны, выделяющей метан в горную выработку, природный источник которого залегает в непосредственной близости от проводимой горной выработки. Процесс формирования потока метана реализуется следующим образом. При проведении горной выработки источник, оказавшийся в зоне разгрузки, начинает эмитировать метан в выработку, и по мере ее проведения, масса разгруженного фрагмента источника метана M_p постепенно возрастает.

В случае неравномерного распределения природного источника вдоль маршрута движения горной выработки, перемещаемой с переменной скоростью, приращение массы разгруженного, а значит – активизированного, источника метана в единицу времени равно:

$$dM_p = m(x)v(\tau)d\tau,$$

где x – путь, пройденный выработкой, м;

τ – время проведения горной выработки, сут.;

$m(x)$ – масса источника метана, разгружаемая от горного давления при проведении одного метра выработки, как функция пути, пройденного выработкой, т/м;

$v_\pi(\tau)$ – скорость проведения горной выработки, как функция времени, м/сут.

На момент времени τ с начала проведения выработки массу разгруженного фрагмента источника метана $M_p(\tau)$ можно описать двойным интегралом:

$$M_p(\tau) = \iint_0^\tau m(x)v_n(\tau)dx d\tau. \quad (1)$$

При этом до определенного момента в формировании потока метана участвует вся разгруженная масса источника:

$$M_p = M_{\text{акт}},$$

где $M_{\text{акт}}$ — масса активного фрагмента источника, т.

Через промежуток времени, равный продолжительности полной дегазации элементарного объема источника, начальный участок разгруженного фрагмента прекращает эмитировать метан по причине своего истощения. После этого формируется фронт полностью дегазированного фрагмента, который начинает перемещаться в направлении движения выработки с некоторой скоростью, равной скорости проведения выработки в тот момент, когда упомянутый фрагмент оказался разгруженным от горного давления. То есть,

$$v_{\text{дег}} = v_n(\tau - \Delta\tau_{\text{дег}}),$$

где $\Delta\tau_{\text{дег}}$ — продолжительность дегазации элементарного объема источника метана, сут.

Соответственно, масса дегазированного фрагмента $M_p(\tau)$ описывается следующим образом:

$$M_{\text{дег}} = \iint_0^{\tau - \Delta\tau_{\text{дег}}} m(x)v_n(\tau - \Delta\tau_{\text{дег}})dx d\tau.$$

В конечном счете, в любой произвольный момент времени ($\tau > \Delta\tau_{\text{дег}}$) масса активного фрагмента источника метана $M_{\text{акт}}$ равна:

$$\begin{aligned} M_{\text{акт}} &= M_p - M_{\text{дег}} \\ &= \iint_0^\tau m(x)v_n(\tau)dx d\tau - \iint_0^{\tau - \Delta\tau_{\text{дег}}} m(x)v_n(\tau - \Delta\tau_{\text{дег}})dx d\tau. \end{aligned}$$

Используя выражение для активной массы источника, метановыделение в горную выработку можно определить:

$$I(\tau) = \iint_0^{\tau} i(\tau) m(x) v_{\pi}(\tau) dx d\tau - \iint_0^{\tau - \Delta\tau_{\text{дег}}} i(\tau - \Delta\tau_{\text{дег}}) m(x) v_{\pi}(\tau - \Delta\tau_{\text{дег}}) dx d\tau, \quad (2)$$

где $i(\tau)$ – удельное метановыделение источника, как функция времени, $\text{м}^3/(\text{мин} \cdot \text{т})$.

Исследованиям динамики дегазации ограниченного объема источника метана $i(\tau)$ посвящено достаточное количество работ [4-7], согласно которым:

$$i(\tau) = i_0 \exp(-A\tau),$$

где i_0 – начальное удельное метановыделение источника $\text{м}^3/(\text{мин} \cdot \text{т})$;

A – параметр, характеризующий интенсивность дегазации источника, сут^{-1} .

Оба параметра определяются экспериментально.

Сложность использования формулы (2) заключается в том, что аналитически задать функции $m(x), v_{\pi}(\tau)$, для реальных объектов затруднительно, если вообще возможно. Поэтому вместо этой формулы для практических расчетов можно порекомендовать рекуррентную формулу:

$$I(\tau) = \sum_{j=1}^k I_{0j} \sum_{i=1}^N \exp \left[-A_j \left(\tau - \frac{L_i}{v_{\pi}} \right) \right], \quad (3)$$

где N – количество природных источников метана, участвующих в формировании метановыделения вмещающих пород;

k – количество пройденных к моменту времени τ отрезков горной выработки, характеризующихся постоянством распределения природных источников по длине;

I_{0j} – начальное метановыделение из j -того источника;

$$I_{0j} = V_j A_j,$$

где V_j – суммарный объем метана, выделившийся из фрагмента j -того источника:

$$V_j = L_i b_{зд} m_j \rho_j (x_j - x_{0j}),$$

где L_i — длина j -того участка горной выработки, характеризующегося постоянством распределения природных источников по длине, м;

$v_{п}$ — скорость проведения горной выработки, м/сут;

A_j — параметр, характеризующий интенсивность дегазации j -того источника, сут⁻¹.

Для частного случая — в условиях постоянной скорости проведения горной выработки и равномерного распределения источников по длине, можно в качестве альтернативы формуле (3) предложить следующую формулу:

$$I_{max} = \frac{2v_{п} b_{зд}}{1440} \sum_{i=1}^N k_{дегi} m_i \rho_i (x_i - x_{0i}), \quad (4)$$

где $x_i; x_{0i}$ — метаноносность, соответственно, природная и остаточная - того природного источника метана, м³/т;

m_i — толщина слоя -того природного источника метана, м;

ρ_i — плотность -того природного источника метана, кг/м³;

$k_{дегi}$ — коэффициент, учитывающий степень дегазации -того природного источника метана. При установившемся метановыделении ($\tau > \Delta\tau_{дег}$) $k_{дегi} = 1$;

N — количество природных источников, принимающих участие в формировании метановыделения горной выработки;

$b_{зд}$ — ширина зоны дренирования метана из источника метана, м.

Для угольных пластов:

$$b_{зд} = 7,5 + 0,00255V^{daf^2} + 10\exp[-0,01(V^{daf} - 21,5)^2],$$

где V^{daf} — содержание летучих веществ в угле, %.

Следует отметить, что описанный частный случай на практике является и наиболее распространенным, поскольку большинство выработок проводится по разрабатываемым пластам, то есть по напластованию горного массива.

Нетрудно заметить, что, если мы ограничимся единственным источником метана ($N=1$) в виде угольного пласта, характеризующегося средне-

статистическими значениями плотности угля $\rho = 1,3$ т/м³, и ширины зоны дренирования $b_{зд} = 12$ м, то из формулы (4) получим известную формулу [3]:

$$I_{max} = 0,023mv_{п}(x - x_0)K_T,$$

где K_T – коэффициент, учитывающий изменение метановыделения во времени.

Согласно [3] K_T следует принять равным единице, если время проведения выработки превышает 200 суток, то есть, приблизительная продолжительность полной дегазации источника. Очевидно, что этот коэффициент является аналогом коэффициента $k_{дегi}$ из формулы (4).

На практике зачастую возникает необходимость уточнения параметров метановыделения в связи с изменением технологических показателей, в частности, скорости проведения подготовительной выработки. В ряде случаев важна также информация, насколько быстро произойдет выход на газовый режим, соответствующий новым условиям. Очевидно, что продолжительность переходного периода и в этом случае определяется временем дегазации элементарного объема источника. При этом текущее значение активной массы источника в течение переходного периода с момента изменения скорости проведения выработки до момента полной дегазации фрагмента, сформированного при прежней скорости проведения, определяется по формуле:

$$M_{акт1}(\tau) = m\rho[v_1(\tau - \Delta\tau_{дег}) + v_0(\tau_1 + \Delta\tau_{дег} - \tau)].$$

Из формулы видно, что к моменту времени $\tau = \tau_1 + \Delta\tau_{дег}$ активная масса источника достигнет нового постоянного значения:

$$M_{акт1}(\tau) = m\rho v_1.$$

Если выработка была остановлена ($v_1 = 0$), то к указанному моменту активная масса источника снизится до нуля, и метановыделение полностью прекратится.

В течение переходного периода (от τ_1 до $\tau_1 + \Delta\tau_{дег}$) текущее метановыделение в выработку изменяется следующим образом:

$$I_1 = I_{0max} + (I_{1max} - I_{0max}) \exp[-A(\tau - \tau_1)],$$

где $I_{0max}; I_{1max}$ – предельные значения метановыделения в горную выработку, соответственно, при скорости проведения v_0 и v_1 , которые определяются по формуле (4).

Динамика изменения метановыделения в горную выработку при изменении скорости ее проведения приведена на рисунке.

В верхней части рисунка изображена зависимость от времени активной массы источника метана при его равномерном распределении по длине выработки. Изначально выработка проводилась со скоростью v_0 . Начиная с момента времени τ_1 , скорость проведения выработки изменилась.

На рисунке отображены все возможные варианты изменения скорости: $v_1 > v_0$; $0 < v_2 < v_0$; $v_3 = 0$, поэтому дополнительно изображены еще 3 зависимости от времени активной массы источника метана при упомянутых скоростях проходки.

В нижней части рисунка изображены зависимости метановыделения в горную выработку при соответствующих изменениях скорости ее проведения.

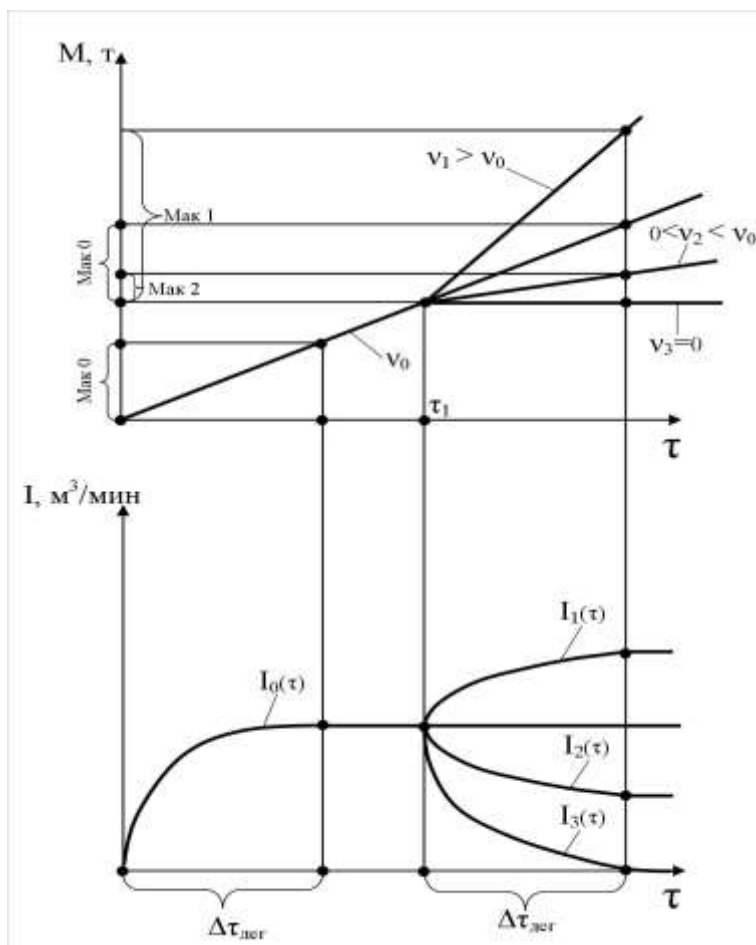


Рисунок – Динамика изменения метановыделения в горную выработку при изменении скорости ее проведения

ВЫВОДЫ

Исследование процесса формирования потоков метана в породном массиве, разгруженном от горного давления, позволило получить формулы для прогноза метановыделения подготовительных выработок:

- в условиях изменяющейся скорости их проведения и неравномерного распределения источников метана по длине выработки;
- при наличии нескольких природных источников, формирующих метановыделение выработки;
- в течение переходного периода, вызванного изменением скорости подвигания при равномерном распределении источников метана по длине выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по расчету количества воздуха, необходимого для проветривания действующих угольных шахт. – Москва: Недра, 1975. – 80 с.
2. Схемы и способы управления газовыделением на выемочных участках угольных шахт / Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий, О.И. Касимов [и др.]. – Киев: 2006. – 78 с.
3. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа, 1994. – 311 с.
4. Абрамов Ф.А. Рудничная аэрогазодинамика / Ф.А. Абрамов. – Москва: Недра, 1972. – 274 с.
5. Аэрология горных предприятий / К.З. Ушаков, А.С. Бурчаков, Л.А. Пучков, И.И. Медведев. – Москва: Недра, 1987. – 421 с.
6. Петросян А.Э. Научные основы расчета параметров горных выработок по газовому фактору / А.Э. Петросян, И.В. Сергеев, Н.И. Устинов. – Москва: Наука, 1969. – 128 с.
7. Айруни А.Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах / А.Т. Айруни. – Москва: Недра, 1981. – 335 с.

Получено: 18.02.25

Рекомендовал к опубликованию д-р техн. наук Медведев В.Н.

UDC 621.315.231:622.33.012

G.B. TYNDA, *head of department, MAKNI, Makeyevka*

**METHANE EMISSION IN MINE WORKINGS
UNDER CONDITIONS OF CHANGES IN THE SPEED
OF DEVELOPMENT OF MINE WORKINGS**

The dynamic pattern of methane release from enclosing rocks into preparatory mine working of a coal mine under conditions of changes in the speed of development of a mine working has been researched. Formulas are obtained for determination of current methane content of a mine working characterized by constant distribution of methane sources over the length after another change of speed of a wall advance.

Keywords: coal mine, speed of development of a mine working, methane source, methane emission.

УДК 622.673

А.И. ДЕМЕНКОВ, зав. лаб.,
О.Г. БОЛТУНОВ, зав. лаб.,
Н.И. МАЙБЕНКО, мл. науч. сотр.,
А.В. ТОЛСТОВА, техн.; МАКНИИ, г. Макеевка

ОБ ИНЕРТИЗАЦИИ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Раскрыты преимущества применения газообразного азота для предупреждения и локализации процессов самовозгорания угля, взрывов метана от раскаленного следа резца, тушения пожаров в горных выработках в местах непосредственного разрушения угольного массива исполнительными органами очистных и проходческих комбайнов. Приведены способы, средства и оборудование для производства газообразного азота из воздуха.

Ключевые слова: газообразный азот, инертизация взрывоопасной среды, мембранные сепараторы, самовозгорание угля, локализация пожаров, источник фрикционного искрения.

Горные работы иногда сопровождаются воспламенением метана и угольной пыли, самовозгоранием угля, пожарами и взрывами, а интенсификация процессов добычи угля и прохождения горных выработок только увеличивает риск этих опасностей. В настоящее время применение взрывозащитного орошения, пылеулавливания, осланцевания, сланцевых заслонов и др. не позволяет, в полной мере, предупредить и нейтрализовать самовозгорание угля, воспламенение метана и угольной пыли в горных выработках. Поэтому вопрос предупреждения пожаров, взрывов пылеметановоздушных смесей и самовозгорания угля с помощью инертных газов остается актуальным.

Цель статьи – информирование специалистов, занимающихся вопросами нейтрализации метановоздушной среды угольных шахт инертными газами.

Для достижения цели:

– проведен анализ известных решений и показаны преимущества использования газообразного азота для предупреждения и локализации процессов самовозгорания угля и тушения пожаров, инертизации взрывоопасной шахтной среды;

- выявлены недостатки инертизации взрывоопасной шахтной среды инертными газами;

- рассмотрены способы, средства и оборудование для производства газообразного азота.

Одним из наиболее перспективных способов предупреждения, локализации и тушения пожаров в шахтах является инертизация атмосферы аварийного участка, заключающиеся в искусственном снижении концентрации кислорода в атмосфере горных выработок путем подачи в них инертного газа [1]. Инертизация шахтной атмосферы с помощью газообразного азота в ходе ликвидации подземных пожаров позволяет:

- сократить сроки ликвидации аварии [2];
- предотвратить взрывы пылеметановоздушной смеси;
- ускорить охлаждение высокотемпературной зоны до безопасного уровня [2];
- сократить до минимума или полностью прекратить процесс горения.

В настоящее время для предупреждения взрывов и прекращения горения на угольных шахтах наиболее часто газообразный азот применяется для:

- изоляции пожароопасных участков, изоляции участка, на котором применяют разные способы ускорения процесса охлаждения очагов пожара (циркуляция, периодическое изменение направления движения пожарных газов и т.д.);

- ликвидации пожаров в горизонтальных тупиковых выработках любой длины;

- ведения взрывных работ в горных выработках;
- предупреждения эндогенных пожаров в скоплениях угля, образовавшихся в результате внезапных выбросов или по другим причинам;

- предварительной инертизации угольного пласта, подлежащего разработке.

Одним из перспективных способов инертизации пылеметановоздушной среды является подача газообразного азота в места интенсивного выделения метана, угольной пыли и образования источника воспламенения в виде раскаленного следа резца при непосредственном разрушении горного массива исполнительными органами очистных и проходческих комбайнов.

Тушение и локализацию подземных пожаров горноспасательные части производят инертным газом, получаемым с помощью специального генератора, в котором сжигают жидкие углеводороды (керосин) с последующим охлаждением продуктов сгорания. Научно-исследовательским институтом горноспасательного дела были разработаны газогенераторные

установки ГИГ-50, ГИГ-4 и ГИГ-1500, предназначенные для локализации и тушения пожаров в горных выработках за счет инертизации среды на пожарных участках топочными газами. Широкое распространение тушение пожаров выхлопными газами не получило, вследствие загрязнения шахтной среды и угрозы жизни работников, участвующих в ликвидации аварии [1].

Известна передвижная установка для тушения подземных пожаров, снабженная парогенератором и емкостью с горючим жидким углеводородом (бензином).

Отсасываемые пожарные газы нагнетались в емкость, где происходило их барботирование насыщенными парами жидкого углеводорода (бензина), а затем смесь поступала в пробуренную скважину к очагу пожара. В результате сгорания паров бензина происходит интенсивное выгорание кислорода и образование инертной среды на изолированном участке, приводящее к затуханию пламенного горения.

Процесс тушения подземного пожара этой передвижной установкой применения не получил вследствие большого количества выбросов угарного газа в окружающую среду.

Начиная с 1970-х годов заметное предпочтение отдается жидкому и газообразному азоту, как наиболее эффективному и экологически чистым веществам для инертизации взрывоопасной метановоздушной шахтной среды и имеющим ряд преимуществ при получении, транспортировке, хранении, газификации и заполнении ими горных выработок.

Однако в настоящее время азот в жидком виде для борьбы с подземными пожарами практически не используется. Практика показала, что быстрое испарение жидкого азота в горных выработках, особенно при подаче в очаг пожара, ведет к резкому скачку его давления. В результате возможно повреждение емкостей с жидким азотом, повреждение трубопроводов и изоляционных сооружений в шахте, влекущие угрозу жизни и здоровью горнорабочих.

В настоящее время для предупреждения, локализации и тушения эндогенных пожаров наиболее востребованным является газообразный азот, получаемый непосредственно из окружающей атмосферы с помощью мембранных газоразделительных станций, как на поверхности шахты, так и в подземных условиях [3]. Газообразный азот используется также для инертизации пылеметановоздушной среды в местах разрушения угольного массива исполнительными органами комбайнов и для предотвращения экзогенных пожаров и взрывов и, тем самым, способствует безопасности ведения горных работ [4].

В ДНР создана передвижная азотная установка на мембранных бло-

ках АМГП – 15/0,7СУ1, отличающаяся от зарубежных, так как ее производительность увеличена в 3 раза. Установка размещалась на поверхности шахты и технологическими шахтными трубопроводами соединялась с аварийным участком.

В РФ мембранные воздухоразделительные азотные установки выпускаются заводами ОАО «Криогенмаш» (Балашиха), ЗАО «Грасис» (Москва), ООО «Тегас» (Краснодар), ООО «Челябинский компрессорный завод», ОАО «Орелкомпрессормаш».

Проведенный анализ применения веществ для инертизации пылеметановоздушной среды угольных шахт показал, что:

- инертизация взрывоопасной шахтной среды с помощью топочных газов, углекислоты и газов на основе фторированных углеводородов не получила широкого распространения, так как они в стесненных шахтных условиях могут нанести вред здоровью горноспасателей, занятых в ликвидации аварии;

- в угледобывающих странах, таких как Казахстан, Польша, Китай, Индия, Австралия и США четко прослеживается тенденция использования инертных газов, в том числе газообразного азота, только для предупреждения и локализации подземных пожаров;

- в настоящее время для предупреждения и локализации очагов самовозгорания в горных выработках угольных шахт предпочтение отдается только газообразному азоту;

- на угольных шахтах бесперебойное снабжение аварийных объектов газообразным азотом осуществляют азотными установками с мембранными сепараторами из атмосферного воздуха;

- в большинстве случаев газообразный азот используется для локализации и тушения подземных пожаров;

- несмотря на существенные недостатки взрывозащитного орошения, применение газообразного азота в качестве дополнительного средства для инертизации взрывоопасной пылеметановоздушной шахтной среды при работе исполнительных органов очистных и проходческих комбайнов в местах непосредственного разрушения горного массива, где происходит интенсивное выделение метана, образование угольной пыли и присутствует след раскаленного резца как источника воспламенения и взрыва широко не используется.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ применения газообразного азота для инертизации взрывоопасной шахтной среды показал, что:

- процесс инертизации шахтной взрывоопасной среды газообразным азотом для предупреждения и локализации очагов самовозгорания угля является перспективным направлением;
- получение газообразного азота предпочтительно осуществлять из окружающей атмосферы установкой с мембранными сепараторами;
- выявлена тенденция использования азотных компрессорных станций во взрывозащищенном исполнении для производства газообразного азота в местах непосредственной инертизации шахтной атмосферы;
- необходимость расширения области применения газообразного азота для инертизации окружающей среды при производстве буровых и буровзрывных работ;
- что система взрывозащитного орошения не обеспечивает достаточный уровень безопасности ведения горных работ при разрушении горного массива исполнительными органами очистных и проходческих комбайнов;
- что для повышения безопасности и эффективности выемки угля и прохождения горных выработок при работе исполнительных органов очистных и проходческих комбайнов необходима подача газообразного азота в места непосредственного разрушения горного массива, в том числе к источнику фрикционного искрения в виде раскаленного следа резца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НПАОТ 10.0-7.05-90. Руководство по борьбе с эндогенными пожарами на шахтах Министерства угольной промышленности СССР. – Москва: МУП СССР, 1990. – 91с.
2. Костенко В.К. Совершенствование технологии инертизации воздуха в горных выработках / В.К. Костенко, Т.В. Костенко // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 1998. – С. 69 - 75.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». – Серия 05. – Вып. 40. – Москва: Научный центр исследования проблем промышленной безопасности, 2014. – 200 с.
4. ГОСТ Р 57071-2016. Нормативы безопасного применения машин и оборудования на угольных шахтах и разрезах по пылевому фактору: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2016-09-16 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 22 с.

Получено: 20.01.25

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Лобода В.В.

UDC 622.673

A.I. DEMENKOV, *head of laboratory*,
O.G. BOLTUNOV, *head of laboratory*,
N.I. MAIBENKO, *junior research worker*,
A.V. TOLSTOVA, *technician*; **MAKNII**, *Makeyevka*

**THE PROBLEM OF USE OF GASEOUS NITROGEN
FOR INERTING OF FIREDAMP ATMOSPHERE
OF COAL MINES**

This research paper presents the advantages of the use of gaseous nitrogen for prevention and localization of the processes of spontaneous ignition of coal, methane explosions from burning hot tool mark, firefighting in mine workings at locations of direct destruction of a rock mass with cutting tools of shear-loaders and tunnelling machines. The methods, means and equipment for nitrogen production from air are presented.

Keywords: gaseous nitrogen, inerting of potentially explosive mine environment, membrane separators, spontaneous ignition of coal, fire localization, frictional sparkling source.

УДК 622.673.2

Н.Н. СТРОЕВ, зав. лаб.,
М.В. КРИВОНОЖЕНКОВ, ст. науч. сотр.; МАКНИИ, г. Макеевка

О ВЛИЯНИИ ШАХТНОЙ ДЕПРЕССИИ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОПРЫ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СТВОЛОВ

Рассмотрены некоторые вопросы влияния шахтной депрессии, действующей на металлические копры вентиляционных стволов. Определены особенности потерь шахтной депрессии в вентиляционной сети и для отдельных ее участков.

Ключевые слова: металлический копер, депрессия, техническое состояние, расчет на прочность, подсосы воздуха.

Депрессия воздуха является основной физической величиной, характеризующей эффективность рудничного проветривания, связывающей вентиляционные расчеты. От депрессии зависят количество поступающего в шахту воздуха и энергетические затраты на его перемещение. Для подачи необходимого количества воздуха необходимо создать депрессию, достаточную для преодоления сопротивлений, возникающих на пути его движения. Воздух, подаваемый в выработки, преодолевает сопротивление трения о стенки, лобовые сопротивления армировки стволов, а также местные сопротивления, возникающие при изменении направления воздушного потока при поворотах, сужениях, расширениях выработок [1].

Цель статьи – ознакомление специалистов, занимающихся проектированием и эксплуатацией шахтных копров, установленных на вентиляционных стволах, с особенностями расчета шахтной депрессии.

Расчет шахтной депрессии $h_{ш}$ выполняется после определения расхода воздуха по шахте $Q_{ш}$, м³/мин, распределения его по сети горных выработок с целью выбора вентилятора главного проветривания по значениям $Q_{ш}$ и $h_{ш}$.

За общешахтную депрессию принимается максимальное значение депрессий всех горных выработок и определяется:

$$h_{ш} = \frac{h_{п.н}}{k_{к.в} \cdot k_{м.с}} + \frac{h_{в.ох}}{k_{к.в}}, \text{ Па}, \quad (1)$$

где $h_{п.н}$ – депрессия подземных выработок определяется как сумма депрес-

сий отдельных последовательно соединенных ветвей h_i воздухоподающего ствола до входа в канал вентилятора:

$$h_{n.n} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n, \text{ Па}, \quad (2)$$

где $k_{к.в}$ – коэффициент, учитывающий потери депрессии в канале вентилятора, включая потери, вызываемые поворотом струи в канал; принимается равным 0,9;

$k_{м.с}$ – коэффициент, учитывающий потери депрессии, вызываемые местными сопротивлениями, в главных общешахтных выработках, т.е. за пределами вентиляционных участков; принимается равным 0,9;

$h_{вох}$ – потери депрессии в воздухоохладителях, определяемые при выборе и расчете установок для кондиционирования воздуха.

Расчеты депрессии по каждому направлению сводятся в специальную таблицу – формуляр для подсчета общешахтной депрессии.

Депрессия капитальных и подготовительных выработок рассчитывается по формуле:

$$h = \frac{\alpha \cdot P \cdot l_{п} \cdot Q_p^2}{S^3} = R \cdot Q_p^2, \text{ Па} \quad (3)$$

или

$$h = \frac{\alpha \cdot k_{\phi} \cdot l_{п} \cdot Q_p^2}{S^{2,5}}, \text{ Па}, \quad (4)$$

где Q_p – расчетный расход воздуха в выработках рассматриваемого направления, м³/мин;

k_{ϕ} – коэффициент формы поперечного сечения выработки; принимается для выработок круглого сечения равным 3,54; сводчатого 3,8; трапециевидного – 4,15;

α – коэффициент аэродинамического сопротивления;

$l_{п}$ – средняя длина действующей выработки за период, м;

P – периметр поперечного сечения выработки в свету, м;

S – площадь поперечного сечения выработки в свету, м²;

R – аэродинамическое сопротивление выработки.

Значения α для основных типов выработок и вида крепления в них принимается согласно «Руководству по проектированию вентиляции угольных шахт» [1].

Депрессия механизированных лав рассчитывается следующим обра-

ЗОМ:

1. Для заданных горнотехнических условий принимаются значения коэффициентов, учитывающих местное сопротивление на входе воздушной струи в лаву и выходе ее из очистного забоя, соответственно $\xi_{вх}$ и $\xi_{вых}$ [2].

2. Из табл. принимают значения площади поперечного сечения лавы в свету $S_{оч}$ и определяют удельное аэродинамическое сопротивление очистного забоя $R_{оч}$ по формуле:

$$R_{оч} = 0,01 \cdot r_{100} \cdot L + \frac{0,0612(\xi_{вх} + \xi_{вых})}{S_{оч}^2}, \quad (5)$$

где L – длина очистного забоя, м.

Таблица

Значения площади поперечного сечения лав

Тип крепи	Вынимаемая мощность пласта, м	Сечение $S_{оч}$ в свету, м ²	r_{100} , кμ	Тип крепи	Вынимаемая мощность пласта, м	Сечение $S_{оч}$ в свету, м ²	r_{100} , кμ
М103	0,70 0,95	1,40 1,90	0,357 0,166	2КД90	1,10 1,50	2,50 3,50	0,070 0,007
МК98	0,75 1,25	1,30 3,80	0,357 0,007	3КД90	1,35 2,00	2,90 4,70	0,060 0,015
МК137	0,80 1,10	1,58 3,44	0,300 0,039	МК138	1,40 2,20	2,93 5,15	0,060 0,014
1КД90	0,85 1,25	1,70 2,40	0,300 0,070	ОКП70	1,90 3,50	3,10 6,50	0,045 0,007

3. $R_{оч}$ переводится из кμ в основную единицу $\left(\frac{H \cdot c^2}{m^8}\right)$ и рассчитывается депрессия очистного забоя $h_{оч}$, Па:

$$h_{оч} = R \cdot Q_p^2. \quad (6)$$

Расчетный расход воздуха Q_p по выработкам рассматриваемого направления принимается:

$$а) \text{ в лаве } Q_p = Q_{оч}; \quad (7)$$

$$б) \text{ в выработках выемочных участков } Q_p = n_{оч} \cdot Q_{оч} \cdot k_{ум.в} + Q_{дон}, \quad (8)$$

где $n_{оч}$ – количество лав, в которые подается или из которых выдается воздух по данной выемочной выработке;

$k_{\text{ут.в}}$ – коэффициент, учитывающий утечки воздуха через выработанное пространство на вентиляционный штрек;

$Q_{\text{доп}}$ – дополнительный расход воздуха на выемочном участке для разбавления поступающего в нее газа. Величина $Q_{\text{доп}}$ определяется конкретной схемой проветривания этого участка. Так, для воздухоподающих и воздуховыдающих выработок в схемах с последовательным разбавлением газа $Q_{\text{доп}} = 0$. Величина $Q_{\text{доп}}$ в воздухоподающей выработке должна учитывать объем воздуха, необходимый для разбавления газа, выделяющегося из отбитого угля и выработанных пространств двух лав, а в воздуховыдающих – объем воздуха для разбавления газа, выделяющегося из выработанного пространства одной лавы, и т.д.

в) в общеучастковых выработках вентиляционного участка $Q_{\text{вт.уч}}$, на всей их расчетной длине (уклоны, бремсберги, ходки, групповые штреки, главные откаточные и вентиляционные штреки в пределах вентиляционных участков):

$$Q_p = Q_{\text{вт.уч}}, \quad (9)$$

г) во всех общешахтных выработках – общему необходимому объему воздуха для проветривания. При рассредоточенных утечках воздуха за Q_p принимается среднее геометрическое из начального $Q_{\text{нач}}$ и конечного $Q_{\text{кон}}$ расходов (в начале и конце выработки):

$$Q_p = \sqrt{Q_{\text{нач}} \cdot Q_{\text{кон}}}. \quad (10)$$

При сосредоточенных утечках воздуха расчет производится по участкам.

Расчет производится для каждого пласта, в некоторых случаях – для каждого вентиляционного участка. Минимальная и максимальная величины депрессии рассчитываются для 15-25 лет эксплуатации шахты, т.е. на срок службы вентилятора.

При выборе струи с максимальной депрессией следует учитывать, что последняя почти всегда соответствует отработке предпоследних ярусов, столбов в панели, выемочном поле. В этот период на вентилируемый участок необходимо подавать наибольший объем воздуха.

Максимальная депрессия не должна превышать установленного для угольных шахт предела депрессии 3000 Па; для сверхкатегорийных шахт (газообильность более 15 т/м³) и шахт мощностью 4000 т в сутки и более, допускается депрессия не выше 4500 Па при соответствующем обосновании [3].

Конструкции металлических копров, находящиеся под воздействием

шахтной депрессии, герметизируют, чтобы снизить утечки воздушного потока. Для конструкций, ограничивающих влияние депрессии на помещения, должны использоваться материалы, обеспечивающие достаточную герметичность конструкций и их сопряжений в процессе эксплуатации. Расчет герметических ограждений должен производиться с учетом максимальных значений депрессии в ограждаемом помещении, как правило, в металлических копрах – это металлический станок.

При расчетах шахтной депрессии рекомендуется принимать величину предельно допустимых прососов воздуха в размере 100 л/мин на 1 м² поверхности ограждений [3]. При этом удельный расход воздуха через ограждения в зависимости от изменения депрессии может быть определен из выражения:

$$q_{м.с.} = \frac{-5,8 + \sqrt{33,4 + 0,104h}}{0,052}, \quad (11)$$

где $q_{м.с.}$ – удельный расход воздуха, л/м²·мин;

h – расчетная максимальная депрессия, влияющая на ограждение в период эксплуатации, мм вод. ст.

Для предотвращения утечек соединение листов металлических обшивок копра производится сплошным электросварным швом.

Измерив депрессию, количество выходящего из шахты воздуха и дебит вентилятора, подсчитывают внешние утечки при заданной депрессии, которые не должны превышать допустимые нормы подсосов воздуха для данного типа герметизации вентиляционного ствола.

Удельные подсосы воздуха через элементы герметических конструкций определяются расчетным способом по эмпирическим зависимостям, приведенным в [3]:

– сопряжения элементов конструкций, отверстия в обшивках или оболочках копров, зазоры в клапанах для прохода подъемных канатов:

$$Q_{от} = 2,63\sqrt{h \cdot S}; \quad (12)$$

– примыкание полотен дверей, ворот ляд к дверным коробам и рамам определяется по графикам [3].

При этом удельный расход воздуха через элементы конструкций и их сопряжения не должен превышать предельно допустимые расчетные нормы для данного типа конструкции.

ВЫВОДЫ

Величина внешних утечек воздуха через герметические конструкции металлического копра определяется как сумма подсосов воздуха через отдельные элементы и их сопряжения. Если фактические удельные подсосы превышают допустимые, необходимо предусматривать мероприятия, способствующие уменьшению воздухопроницаемости деталей и элементов конструкций.

Результаты расчетов будут использоваться в научно-исследовательской работе «Исследования негативного воздействия разряженной воздушной среды и ее колебаний на устойчивость и надежность металлических копровых сооружений с истекшим сроком эксплуатации», выполнение которой позволит повысить точность и объективность расчета на прочность металлических копров и оценку их технического состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Макеевка: Донбасс, 1989. – 319 с.
2. Методика расчета и выбора параметров крепи на сопряжениях горных выработок при одинарной и парной подготовке выемочных столбов. – Санкт-Петербург: ВНИМИ, 2004. – 85 с.
3. Руководство по строительному проектированию башенных копров. – Москва: Стройиздат, 1974. – 32 с.

Получено: 30.01.25

Рекомендовал к опубликованию канд. техн. наук Лобода В.В.

UDC 622.673.2

N.N. STROEV, head of laboratory,

M.V. KRIVONozHENKOV, senior research worker; MAKNI, Makeyevka,

THE PROBLEM OF IMPACT OF MINE PRESSURE DROP ON METAL HEADGEARS OF AIR SHAFTS

This research papers the consideration of some problems of impact of mine pressure drop having effect on metal headgears of air shafts. The particularities of pressure drop losses in a ventilation system and for its particular areas are defined.

Keywords: metal headgear, pressure drop, engineering status, strength calculation, air inleakages.

III. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 622. 235

В.В. ДЕНЬГА, зав. лаб.,
А.В. БЕЛОДЕД, науч. сотр.,
Е.В. ТЕРЕНТЬЕВА, науч. сотр.,
А.Г. БЕЛОДЕД, инж.; МАКНИИ, г. Макеевка

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРИСТОГО НАТРИЯ В ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ

Проведены сравнительные исследования для определения содержания хлористого натрия в промышленных эмульсионных взрывчатых веществах титрованием с использованием разных титрантов. Содержание хлористого натрия позволяет контролировать предохранительные свойства эмульсионных взрывчатых веществ. Установлено, что использование при титровании раствора азотнокислого серебра предпочтительно по сравнению с использованием азотнокислой ртути

Ключевые слова: структура, эмульсионные взрывчатые вещества, методика, хлористый натрий, исследования, титрование, титранты, предохранительные свойства, азотнокислое серебро, азотнокислая ртуть.

Как известно, ведение буровзрывных работ в угольных шахтах может привести к взрывам метано- и пылевоздушных смесей. Для снижения вероятности возникновения подобных аварийных ситуаций следует применять предохранительные промышленные взрывчатые вещества (ВВ). Уровень предохранительности любого промышленного ВВ определяется количественным содержанием в его составе различных солей-ингибиторов, наиболее часто используемым из которых является хлористый натрий. Данная соль вводится в состав многих порошкообразных предохранительных ВВ (аммонитов, угленитов и т.п.) в количестве не менее 12 % от их общей массы [1]. Некоторые производители добавляют хлористый натрий в состав эмульсионных ВВ [2,3]. Для оценки уровня безопасного применения предохранительных эмульсионных ВВ на угольных шахтах необходимо определять массовую долю в них соли-ингибитора.

В настоящее время для определения содержания хлористых солей щелочных или щелочноземельных металлов в разных химических продуктах используется ряд методик. Известен метод фотометрического опреде-

ления хлористого натрия путем окисления его в сернокислой среде с последующим взаимодействием образующегося хлора с органическим реагентом. Окисление хлоридов осуществляют перекисью водорода, а в качестве органического реагента используется о-фенилендиамин. Метод не позволяет определять хлористый натрий в эмульсионных ВВ вследствие наличия в водных растворах аммиачной селитры, так как при ее взаимодействии с перекисью водорода образуются побочные продукты в виде гидразина и его производных, влияющие на достоверность результатов [4].

В тоже время для определения содержания хлористых солей щелочных или щелочноземельных металлов в разных химических продуктах существует ряд методик, основанных преимущественно на титровании иона хлора различными солями-нитратами. При определении содержания хлористого натрия в предохранительных порошкообразных ВВ применяется методика, основанная на объемном титровании иона хлора раствором закисной азотнокислой ртути (меркурометрический метод) [5]. Известна также методика определения содержания хлористого натрия в разных химических продуктах, основанная на титровании иона хлора азотнокислым серебром (аргентометрический метод) [6].

Учитывая принципиальное отличие структуры эмульсионных от порошкообразных ВВ, актуальной является разработка методики для определения содержания хлористого натрия в исследуемом эмульсионном ВВ.

Цель статьи – информирование специалистов, занимающихся разработкой, выпуском и испытаниями эмульсионных взрывчатых веществ, о применении титрования ионов хлора при определении содержания хлористого натрия.

Авторами предлагается экспериментально установить возможность определения содержания хлористого натрия в эмульсионных ВВ с учетом особенностей их структуры.

Ранее было установлено, что методом азеотропной сушки с использованием толуола можно разрушить эмульсии в эмульсионных ВВ с последующим определением содержания в них воды. При этом образовывался белый осадок, представляющий смесь аммиачной и кальциевой селитры, а также хлористого натрия [7].

Далее были проведены экспериментальные исследования для определения массовой доли хлористого натрия в эмульсионных ВВ двумя методиками титрования. Исследовались два экспериментальных образца эмульсионных ВВ, изготовленные в условиях научно-исследовательской лаборатории взрывных работ и взрывчатых материалов МАКНИИ [3]. Компонентный состав образцов представлен в табл. 1.

Предварительно выполнялись операции по методу азеотропной суш-

ки с отделением воды и топливной фазы от этих составов. Образовавшиеся осадки отфильтровывали, сушили в сушильном шкафу, охлаждали в эксикаторе около 40 минут. Затем определяли содержание хлористого натрия двумя методиками титрования с использованием реактивов – раствора азотнокислой ртути и раствора азотнокислого серебра.

Таблица 1
Составы экспериментальных образцов эмульсионных ВВ

Компонент ВВ	Содержание компонента, %	
	Состав № 1	Состав № 2
Окислительная фаза:	94,0	93,0
Аммиачная селитра	68,0	73,0
Кальциевая селитра	13,0	–
Вода	10,0	12,0
Хлорид натрия	3,0	8,0
Топливная фаза:	6,0	7,0
Индустриальное масло И-40	4,5	5,5
Эмульгатор «Лубризол»	1,5	1,5
Микросферы стеклянные	2 (сверх 100%)	2 (сверх 100%)

Первая серия опытов проводилась по методике объемного титрования с применением в качестве титранта 0,1 н раствор азотнокислой ртути, который готовили следующим образом: 30 г бесцветных кристаллов азотнокислой закисной ртути растворяли в 1 л воды, содержащей 40 мл азотной кислоты плотностью 1,15 г/см, и прибавляли несколько капель металлической ртути. Титр полученного раствора устанавливали через двое суток после приготовления по химически чистой хлористой соли натрия. Раствор сохраняли в колбе из темно-оранжевого стекла. Параллельно готовили 1 % спиртовой раствор индикатора – дифенилкарбазида, для этого 1 г дифенилкарбазида растворяли при нагревании до 60 °С в 10 мл этилового ректифицированного технического спирта. Раствор был готов к применению через трое суток [5].

Затем навески сухих осадков помещали на обеззоленные фильтры и обрабатывали водой, нагретой до температуры 70 °С. Фильтраты собирали в мерные колбы объемом 500 мл. Полноту растворения солей в воде проверяли после того, как в колбах набиралось по 150 мл фильтратов. Далее фильтраты разбавляли водой до метки при температуре 20 °С и тщательно

перемешивали. Из полученных фильтратов пипетками отбирали пробы по 50 мл и помещали в четыре колбы. В каждую колбу вводили по 10 мл азотной кислоты и титровали раствором азотнокислой ртути.

В конце титрования добавляли дифенилкарбазид в количестве 1,0 мл и продолжали титровать до перехода окраски от голубоватой до постоянной сине-фиолетовой.

Содержание хлористого натрия в пробах эмульсионных ВВ в процентах вычисляли по формуле:

$$x = \frac{V \cdot 10 \cdot 0.005846 \cdot 100}{m},$$

где V – объем 0,1 н раствора азотнокислой ртути, израсходованный для титрования, мл;

0,005846 – количество хлористого натрия, соответствующее 1 мл 0,1 н. раствора азотнокислой ртути, г;

m – масса пробы ВВ, г.

По результатам двух параллельных определений вычисляли среднее арифметическое, округляемое до 0,1 %. Согласно [5] расхождение между результатами не должно превышать 0,3 % при доверительной вероятности 0,95. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 2.

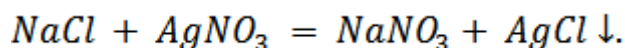
Таблица 2

Содержание хлористого натрия в составе эмульсионного ВВ
при использовании в качестве титранта раствора азотнокислой ртути

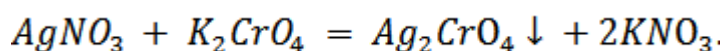
Состав эмульсионного ВВ	Масса пробы ВВ, г	Объем раствора азотнокислой ртути, мл	Массовая доля хлористого натрия в пробе, %	Массовая доля хлористого натрия в составе эмульсионного ВВ, %
Состав № 1	5,0058	2,5	2,92	3,0
	4,9896	2,5	2,93	
Состав № 2	5,0034	6,8	7,95	8,0
	5,0482	6,9	7,99	

Вторая серия опытов проводилась титрованием фильтратов раствором азотнокислым серебром. Данная методика титрования основана на

способности азотнокислого серебра в нейтральных растворах вместе с хлористым натрием образовывать белый осадок хлористого серебра, а с индикатором – хромовокислым калием – осадок хромовокислого серебра. Так как растворимость хлористого серебра меньше, чем хромовокислого серебра, то вначале образуется белый осадок хлористого серебра:



После связывания всего хлора азотнокислое серебро начинает реагировать с хромовокислым калием:



Для титрования был приготовлен 0,05 н раствор серебра азотнокислого. Для этого 8,5 г азотнокислого серебра помещали в мерную колбу емкостью 1 л, заливали дистиллированной водой, перемешивали и доводили объем раствора до метки дистиллированной водой. Параллельно готовили 10 % водный раствор хромата калия.

Ранее подготовленные пробы исследуемых белых осадков помещали в четыре колбы, добавляли в каждую по 100 мл дистиллированной воды и для нейтрализации кислой среды по 50 мл бикарбоната натрия. Смеси нагревали на водяной бане до температуры 40 °С и выдерживали при этой температуре 45 минут. Затем их охлаждали до температуры 20 °С и фильтровали через бумажные фильтры. По 20 мл фильтратов вносили в колбы емкостью 250 мл, добавляли по 1 мл раствора хромовокислого калия и титровали раствором азотнокислого серебра до появления устойчивого желтого окрашивания.

Массовую долю хлористого натрия в процентах вычисляли по формуле:

$$x = \frac{V \cdot 0,00292 \cdot k \cdot V_2}{V_1 \cdot m},$$

где V – объем жидкости в мерной колбе, мл;

V_2 – объем 0,05 н раствора азотнокислого серебра, израсходованного на титрование исследуемого раствора, мл;

V_1 – объем фильтрата, взятого на титрование, мл;

m – масса пробы ВВ, г;

0,00292 – количество хлористого натрия, соответствующее 1 мл 0,05 н раствора азотнокислого серебра, г;

k – поправочный коэффициент к 0,05 н раствору азотнокислого серебра, $k = 0,9956$.

Аналогично, как в первой серии опытов, проводили два параллельных определения массовой доли хлористого натрия, по результатам которых вычисляли среднее арифметическое значение, округляемое до 0,01 %. При этом также расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,3 % при доверительной вероятности 0,95 [8]. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание хлористого натрия в составе эмульсионного ВВ
при использовании в качестве титранта раствора азотнокислого серебра

Состав эмульсионного ВВ	Масса пробы, г	Объем жидкости в мерной колбе, мл	Объем раствора азотнокислого серебра, мл	Объем фильтра, взятого для титрования, мл	Массовая доля хлористого натрия, %	Массовая доля хлористого натрия в составе эмульсионного ВВ, %
Состав № 1	5,1001	150	7,0	20	2,99	3,0
	5,0002	150	6,8	20	2,97	
Состав № 2	4,9015	150	17,9	20	7,96	8,0
	5,0008	150	18,3	20	7,98	

Проведенные исследования показали, что можно использовать оба метода. Однако при аргентометрическом методе необходимо учитывать рН титруемых фильтратов, который должен быть 6,5 – 10,0. Так, в кислой среде хромат калия переходит в бихромат калия, образующий с ионами серебра красный осадок, растворимый в кислотах, а в сильнощелочной среде – оксид серебра, приводящие к искажению результатов. Поэтому при титровании фильтратов азотнокислым серебром, их предварительно необходимо нейтрализовать раствором буры или раствором бикарбоната натрия, или оксидом магния.

ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований подтвердили возможность применения титриметрических методов для определения содержания хло-

ристого натрия в эмульсионных ВВ. Наиболее практичен метод титрования с применением азотнокислого серебра.

Определение содержания хлористого натрия позволяет контролировать предохранительные свойства эмульсионных ВВ, обеспечивая стабильность их безопасных характеристик при ведении взрывных работ на шахтах, опасных по взрывам газа и угольной пыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 21982-76. Вещества взрывчатые промышленные. Аммониты водоустойчивые предохранительные. Технические условия. Межгосударственный стандарт [принят и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 29.06.1976 № 1619]. – Текст электронный. Сайт Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200018174> (дата обращения 12.02.2025).

2. Колганов Е.В. Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. 1-я книга (Составы и свойства) / Е.В. Колганов, В.А. Соснин. – Т. 1. – Дзержинск Нижегородской обл.: изд. ГосНИИ «Кристалл», 2009. – 592 с.

3. Разработать эмульсионное взрывчатое вещество с повышенной детонационной способностью, предназначенное для ведения взрывных работ в угольных шахтах, опасных по газу и (или) пыли: заключительный отчет о НИР / МАКНИИ. – № ГР 68; Инв. № 4849. – Макеевка, 2017. – 66 с.

4. Крейнгольд С.У. Способ фотометрического определения хлоридов. А.с. № 789385 А1 (заявка 2685416 от 13.11.1978) / С.У. Крейнгольд, Л.В. Лаврелашвили, Е.В. Логинова. – Текст электронный. Представлено с сайта Федерального института промышленной собственности. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/SU789385A1_19801223 (дата обращения 13.02.2025).

5. ГОСТ 14839.4-69. Вещества взрывчатые промышленные. Метод определения содержания хлористых солей. Государственный стандарт СССР [принят и введен в действие Постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР от 14.07.1969 № 800]. – Текст электронный. Сайт Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200018228> (дата обращения 13.02.2025).

6. Калюкова Е.Н. Осадительное и комплексометрическое титрование. Методические указания к лабораторной работе по аналитической химии: учеб. пособие / Е.Н. Калюкова. – Ульяновск: Ульяновский гос. техн. ун-т, 2002. – 29 с.

7. О возможности азеотропной сушки при определении содержания

воды в эмульсионных взрывчатых веществах / В.В. Деньга, А.В. Белодед, Е.В. Терентьева, А.Г. Белодед // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах / МАКНИИ. – Макеевка, 2024. – № 3(66). – С. 94 - 101.

8. ГОСТ 9957-2015. Мясо и мясные продукты. Методы определения содержания хлористого натрия. Межгосударственный стандарт [Введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21.08.2015 № 1183-ст]. – Текст электронный. Сайт Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200123810> (дата обращения 14.02.2025).

Получено: 03.03.25

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Манжос Ю.В.

UDC 622.235

V.V. DENGА, head of laboratory,

A.V. BELODED, research worker,

E.V. TERYTYEVA, research worker,

A.G. BELODED, engineer; MAKNIИ, Makeyevka

THE PROBLEM OF DETERMINATION OF SODIUM CHLORIDE CONTENT IN EMULSION EXPLOSIVES

The comparative surveys for determination of sodium chloride content in industrial emulsion explosives with titration with the use of different titrants have been conducted. Sodium chloride content allows the control of protecting properties of emulsion explosives. It is found, that the use of the silver nitrate solution is preferred over the use of mercuric nitrate.

Keywords: structure, emulsion explosives, methodology, sodium chloride, research, titration, titrants, protecting properties, silver nitrate, mercuric nitrate.

УДК 628.31

А.В. ВОЛОДИН, зав. лаб.,

С.А. ГРЕЧКА, мл. науч. сотр.; МАКНИИ, г. Макеевка

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ СОЛЕВОЙ МОДИФИКАЦИИ ЦЕОЛИТА НА ЕГО ОБМЕННЫЕ СВОЙСТВА В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО МОДЕЛЬНОГО РАСТВОРА ШАХТНЫХ ВОД

Определена динамическая обменная емкость природного цеолита, модифицированного ионной солью, образованной одновалентными катионом и анионом. В ходе очистки многокомпонентного модельного раствора с концентрациями химических загрязнителей, типичных для шахтных вод Донбасса, установлены зависимости расхода очищаемого раствора от концентрации химических элементов в воде после очистки и получены расчетные значения ресурса фильтра для каждого загрязнителя до достижения предельно допустимых концентраций в питьевой воде.

Ключевые слова: цеолит, обменная емкость, модификация, одновалентная ионная соль, ионный обмен, сорбция, шахтная вода, очистка, ресурс фильтра.

В Донбассе шахтные воды содержат большое количество ионов тяжелых металлов, сульфатов, хлоридов и др. Попадание агрессивных вод в окружающую среду негативно влияет на состояние биосферы и здоровье человека, приводит к загрязнению поверхностных и подземных вод токсичными веществами, заболачиванию или засолению почв, нарушениям бетонных и металлических конструкций и т.д. Поэтому для шахтных вод должен проводиться мониторинг химического состава и соответствующая очистка.

Для снижения комплексного влияния шахтных вод на экосистему и устранения дефицита питьевой, хозяйственно-бытовых и технических вод одной из первостепенных задач является очистка шахтного стока, в том числе и от химических загрязнителей.

Очистка шахтных вод является дорогостоящим многоэтапным процессом, поэтому решение проблемы по снижению затрат позволит разработать технологические схемы, пригодные и для переработки различных техногенных водных ресурсов в зависимости от потребностей других отраслей народного хозяйства: коксохимии, металлургии, химических про-

изводств и т.д.

Очистка осветленных и обеззараженных шахтных вод обратным осмосом или электродиализом проблематична при внедрении. Проекты по активации биологического самоочищения водных ресурсов от ионов тяжелых металлов с участием гидробионтов и водовоздушных растений эффективны только при невысоком уровне минерализации и относительно небольших объемах техногенных стоков [1]. Как альтернатива сложно реализуемым или малоэффективным способам очистки воды предлагается использовать кислото- и термостойкие минеральные загрузки из природного цеолита и его модифицированных форм, помещаемых в сорбционные и ионообменные установки на одном из этапов технологической схемы для очистки шахтных вод.

В научных разработках по модифицированию цеолитов известны способы обработки материала, заключающиеся в повышении каталитической активности цеолита наночастицами серебра и золота, воздействии на исходную форму минерала раствором титана в метиловом спирте, толуолом или серной кислотой, термические методы и др., отличающиеся технологической доступностью и экологическими последствиями использования [2, 3, 4, 5, 6].

В результате исследований, проведенных авторами, показана необходимость обработки цеолитового сорбента и ионообменника, безопасными для человека и окружающей среды, распространенными и доступными неорганическими солевыми составами, среди которых можно выделить ионные кристаллы натрия хлористого – модификатора [2]. Последний является натриевой солью соляной кислоты, содержится в большом количестве в морской и подземных водах. В природе представлен в виде минерала галита, который используется в пищевой промышленности, в медицине как физиологический 0,9 % или гипертонический 10,0 % раствор, в водоподготовке для умягчения воды и восстановления работоспособности ионообменных загрузок в фильтрующих установках и т.д.

Цель работы – исследование обменной емкости модифицированной катионами натрия цеолитовой загрузки и ресурса фильтра для очистки многокомпонентного водного раствора, моделирующего состав шахтных вод Донбасса, до уровня предельно допустимых концентраций в питьевой воде.

Объектом экспериментов по применению и адаптации сорбционных и ионообменных методов очистки шахтной воды до уровня питьевого назначения является природный цеолит Холинского месторождения, содержащий не менее 70 % минерала клиноптилолита, характеризующийся средней обменной емкостью 0,7-2,5 мг-экв/г по ионам аммония, обладаю-

щий значительной рабочей внутренней поверхностью и подвижными катионами натрия и кальция [7]. В качестве модификатора исследуемой в работе минеральной загрузки выбрана ионная 1-1-валентная средняя соль натрия хлористого, поскольку процесс разделения электронейтральной ионной пары Na^+Cl^- на катионы Na^+ и анионы Cl^- протекает в одну стадию и гораздо легче, чем для кислых и основных солей или молекулярных соединений [8, 9]. Испытания обработанного ионным модификатором цеолита проводились в вертикальном сорбционно-ионообменном фильтре экспериментального лабораторного стенда в динамических условиях, с использованием многокомпонентных водных растворов, моделирующих химический состав экологически небезопасных техногенных шахтных стоков [10].

Исследуемая в динамических условиях обменная емкость цеолита DE мг-экв/г по компонентам раствора определялась по формуле:

$$DE = \frac{(C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}}) \cdot V}{M_{\text{экв}} \cdot m},$$

где $C_{\text{нач}}$ – начальная концентрация химического компонента в модельном растворе до очистки цеолитом, мг/дм³;

$C_{\text{кон}}$ – конечная концентрация химического компонента в очищенной воде после цеолитовой загрузки, мг/дм³;

V – объем раствора, пропущенный через цеолитовую загрузку до появления в очищенной воде химического загрязнителя, л;

m – масса цеолита, используемого в загрузке, г;

$M_{\text{экв}}$ – отношение молекулярной массы химического загрязнителя к его валентности.

Исследуемая в динамических условиях общая обменная емкость цеолита $DE_{\text{общ}}$ определялась как сумма DE , рассчитанных для каждого компонента модельного раствора шахтных вод.

В экспериментах по определению обменной емкости модифицированного цеолита в динамических условиях применялись подготовленные навески материала, отобранные из тары производителя, которые подвергались измельчению и последующему просеиванию на ситах до фракции 315-1500 мкм. Обработка материала производилась модификатором 5,2 % раствором $NaCl$ в статических условиях в течение 72 ч. Затем цеолит загружался в сорбционно-ионообменный фильтр лабораторного стенда, параметры которого указаны в табл. 1 [10], и промывался дистиллированной водой до отсутствия реакции на ионы хлора. Испытания материала проводились в нормальных условиях, рН модельного раствора 3,0, объем очища-

емого раствора составил 5 л. В качестве растворителя применялась дистиллированная вода. Реактивы, из которых изготавливался пропускаемый через фильтр многокомпонентный раствор, состояли преимущественно из солей с сульфатными и хлоридными остатками, позволяющими задать катионные и анионные показатели.

Таблица 1

Параметры стенда для очистки шахтных вод

Технический параметр стенда	Значение параметров
Расход очищаемых вод Q , м ³ /ч	0,0025
Скорость фильтрации v_f , м/ч	1,99
Внутренний диаметр фильтра d_f , м	0,04
Площадь фильтрации S_f , м ²	0,001256
Высота слоя загрузки H_z , м	0,41
Объем загрузки V_z , м ³	0,000515
Насыпной вес загрузки P_z , г/л	1100
Масса загрузки m_z , кг	0,6

Зависимости объема модельного раствора, пропущенного через фильтр, от концентрации химических веществ в очищенной воде приведены на рисунках 1-8.

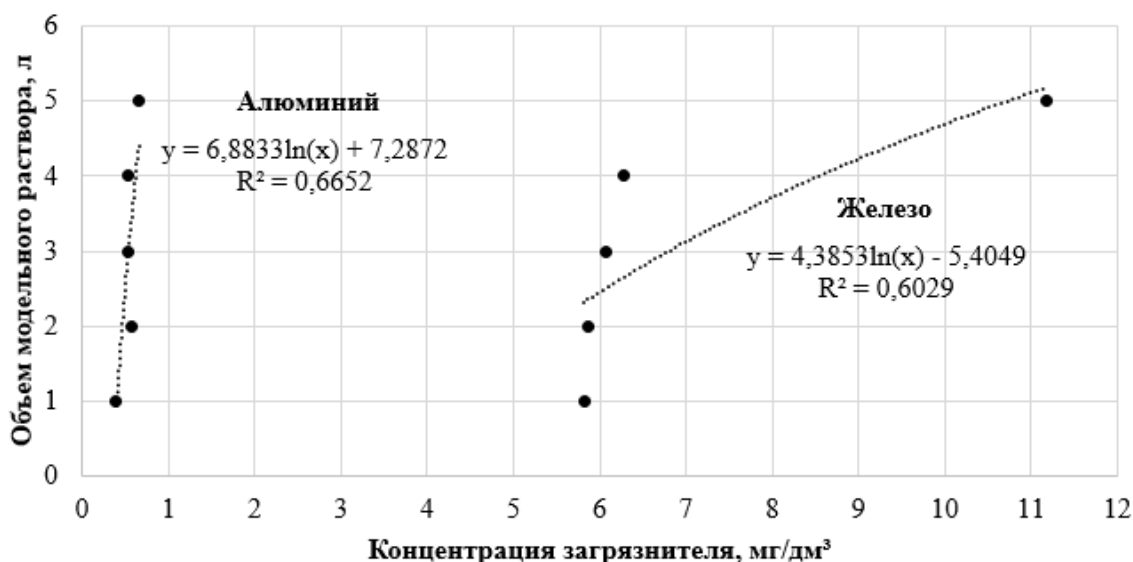


Рис. 1. Концентрация алюминия и железа в воде после фильтра, загруженного *N*-модифицированным цеолитом

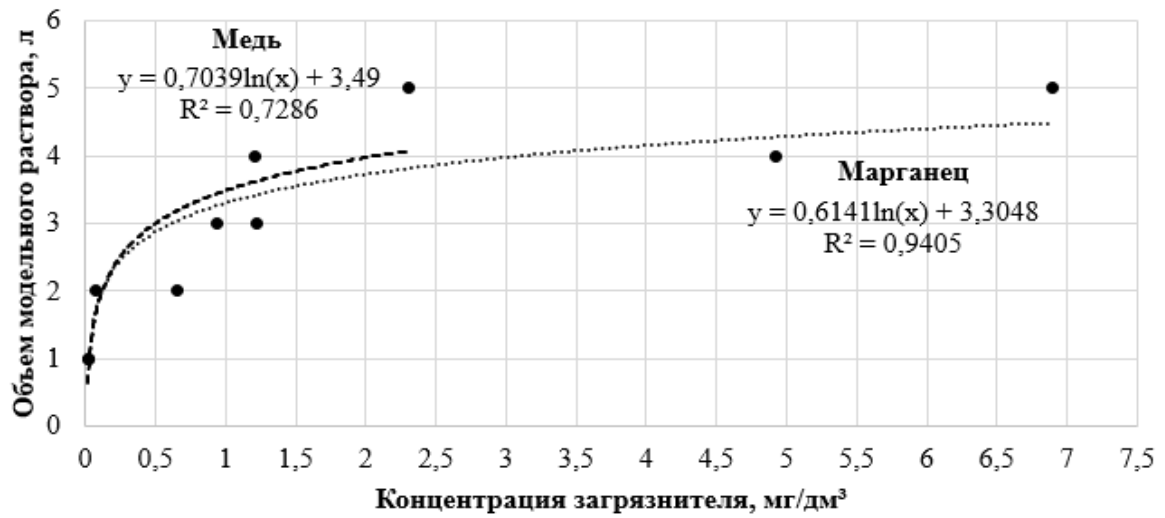


Рис. 2. Концентрация меди и марганца в воде после фильтра, загруженного *N*-модифицированным цеолитом

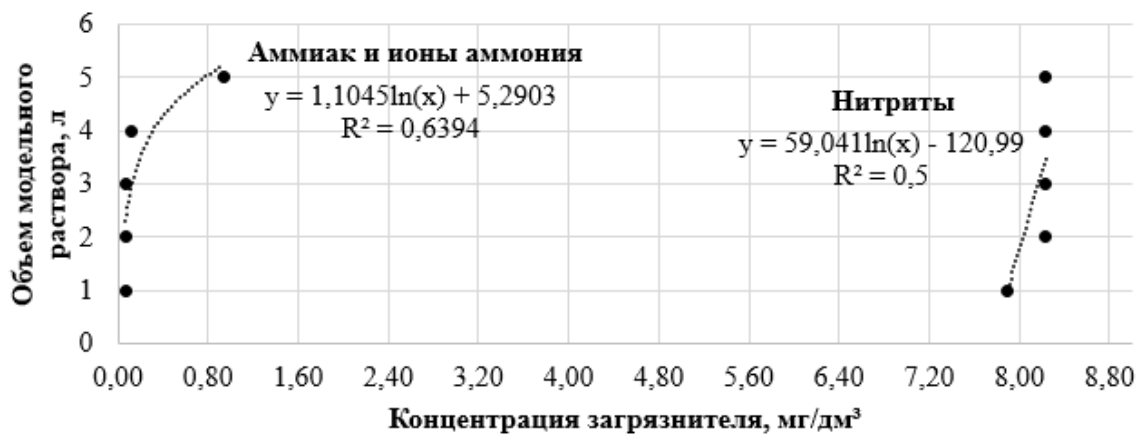


Рис. 3. Концентрация аммиака и ионов аммония и нитритов в воде после фильтра, загруженного *N*-модифицированным цеолитом

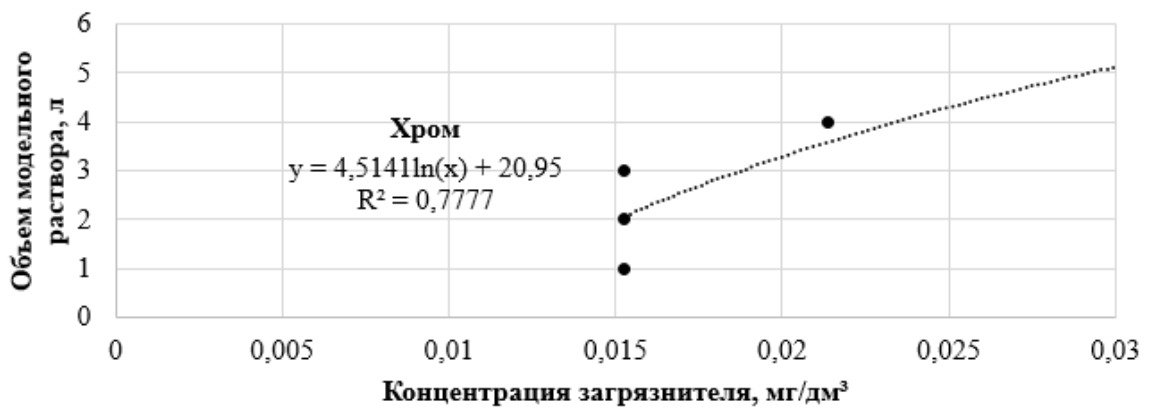


Рис. 4. Концентрация хрома в воде после фильтра, загруженного *N*-модифицированным цеолитом

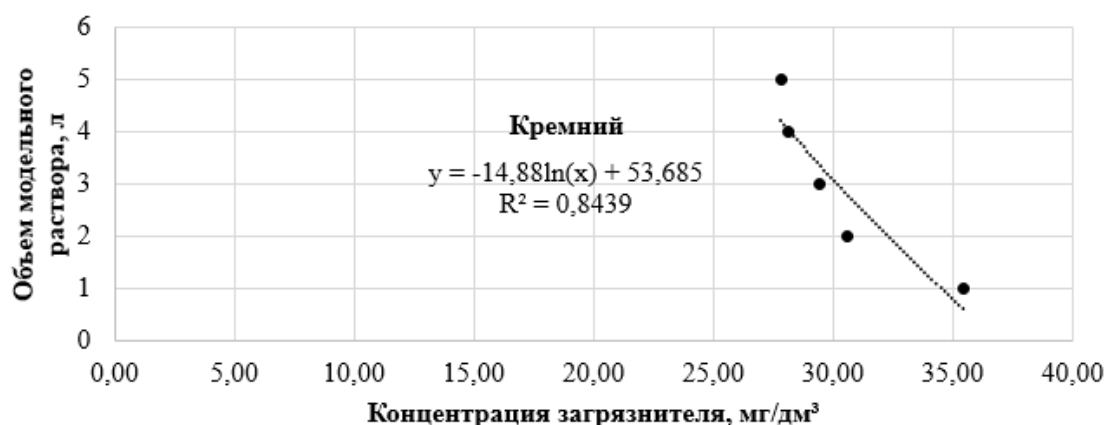


Рис. 5. Концентрация кремния в воде после фильтра, загруженного *N*-модифицированным цеолитом

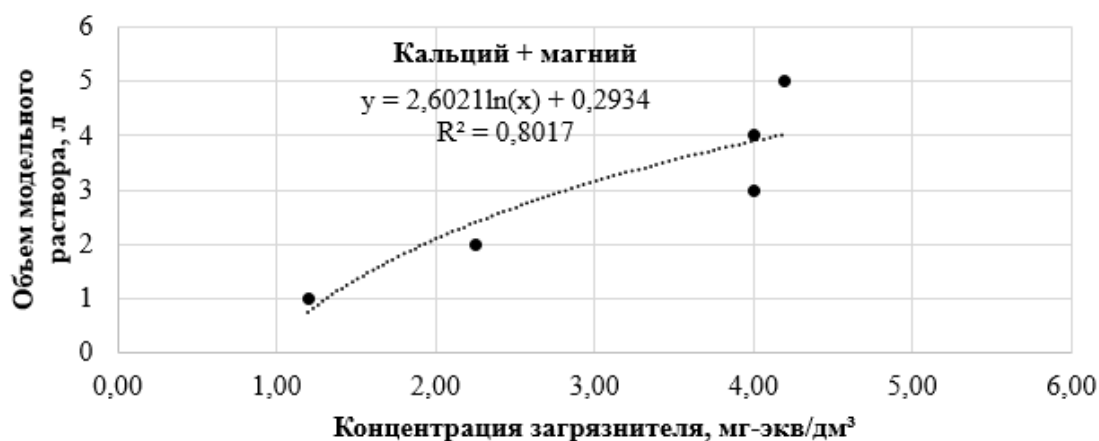


Рис. 6. Концентрация кальция + магния в воде после фильтра, загруженного *N*-модифицированным цеолитом

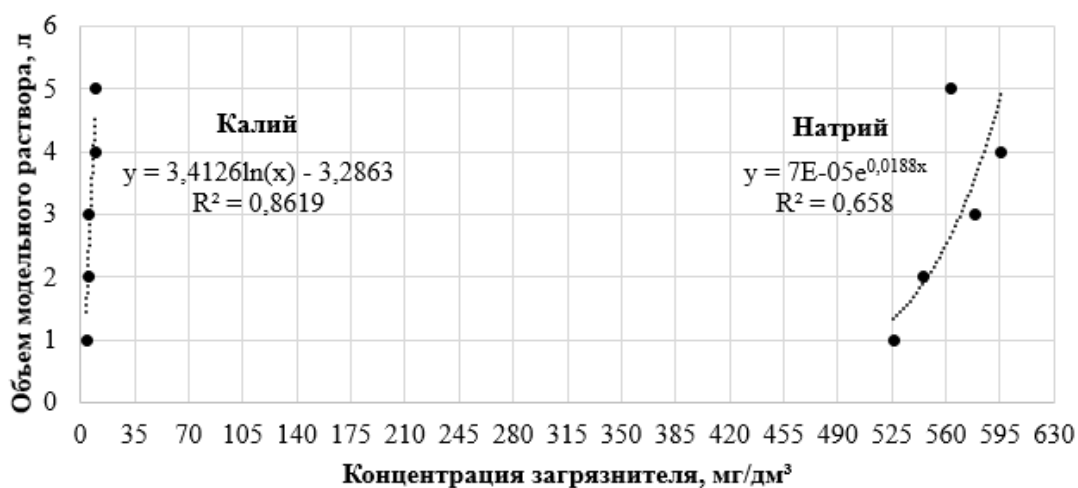


Рис. 7. Концентрация калия и натрия в воде после фильтра, загруженного *N*-модифицированным цеолитом

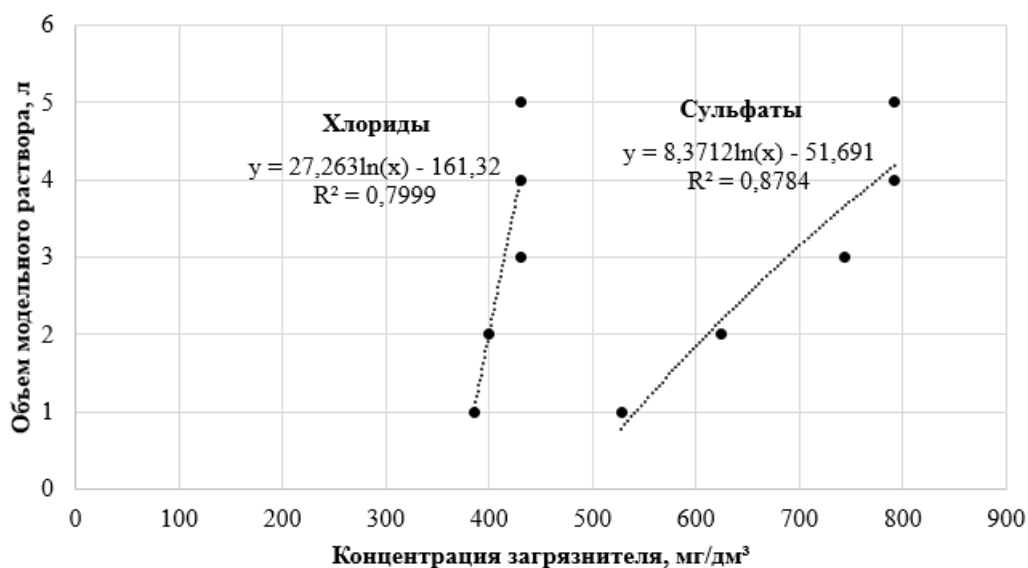


Рис. 8. Концентрация хлоридов и сульфатов в воде после фильтра, загруженного *N*-модифицированным цеолитом

Результаты расчета динамической обменной емкости модифицированного цеолита по отношению к каждому химическому компоненту, общей обменной емкости и ресурса фильтра до достижения ПДК в питьевой воде приведены в табл. 2.

Таблица 2

Обменная емкость цеолита, модифицированного ионами натрия, и ресурс фильтра для очистки шахтных вод до уровня показателей питьевой воды

№ п/п	Наименование компонента	Концентрация в растворе, мг/дм³	ПДК в питьевой воде, мг/дм³	Расход раствора, л	Эффективность очистки, %			Ресурс фильтра, л	DE, мг-экв/г	DE _{общ} цеолита, мг-экв/г	Примечание
					от	до	средняя				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Алюминий	11,9	0,20	5,0	96,7	94,4	95,4	0,2	0,0035	0,1549	-
2	Аммиак и ионы аммония	12,0	2,00	5,0	99,4	92,2	97,9	6,1	0,0054		-
3	Железо	45,0	0,30	5,0	87,1	75,1	84,4	0,0	0,0170		Превышение ПДК

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	Кремний	27,8	20,00	5,0	-27,4	0,0	-8,9	0,0	-0,0002		Пре- выше- ние ПДК. Де- сорб- ция
5	Марганец	10,6	0,10	5,0	99,8	42,2	78,0	1,9	0,0024		-
6	Медь	3,4	1,00	5,0	99,5	32,3	69,9	3,5	0,0006		-
7	Нитриты	8,2	3,00	5,0	4,1	0,0	0,8	0,0	0,00001		Пре- выше- ние ПДК
8	Хром	0,1	0,05	5,0	75,0	50,0	68,0	7,4	0,00004		-
9	Сульфаты	792,0	500,00	5,0	33,3	0,0	12,1	0,3	0,0167		-
10	Кальций + магний*	13,2	7,00	5,0	90,9	68,2	76,3	5,4	0,0839		-
11	Хлориды	430,0	350,00	5,0	10,5	0,0	3,5	0,0	0,0035		Пре- выше- ние ПДК
12	Калий**	110,0	-	5,0	90,9	96,4	93,8	-	0,0220		Нет ПДК
13	Натрий	224,6	200,00	5,0	-134,2	-165,3	-150,2	-	-0,1223	-	Де- сорб- ция

* Концентрация – в мг-экв/дм³.

** Содержание калия в питьевой воде действующими СанПиН 1.2.3685-21 [11] не нормируется.

В ходе проведения исследований обменной емкости модифицированного цеолита и ресурса фильтра при снижении концентрации химических веществ в модельных шахтных водах до значений ПДК в питьевой воде установлено следующее:

– логарифмическая зависимость объема очищаемого модельного раствора от концентрации загрязнителей, при коэффициенте аппроксимации 0,50-0,94, определена для всего ряда химических элементов по табл. 2, за исключением натрия;

– низкая степень сродства полученной *N*-формы материала выявлена для нитритов и хлоридов, эффективность очистки от которых составила не более 10,5 %;

– явление десорбции обнаружено для кремния и натрия при их вы-

мывании из цеолитовой загрузки;

– общая обменная емкость цеолита в *N*-форме в динамических условиях составила 0,1549 мг-экв/г;

– исходя из эквивалента натрия, вымытого модельным раствором из ионообменника, на ионный обмен приходится 0,1223 мг-экв/г, на сорбцию – 0,0326 мг-экв/г.

Результаты проведенных исследований показали, что природный цеолит Холинского месторождения, обработанный солью натрия хлористого, для ряда химических загрязнителей пригоден при очистке шахтных вод Донбасса. Дальнейшее улучшение обменных характеристик материала можно достичь с помощью *n-m*-валентных солей, 1-1-валентных кислот, наномagnetита и других перспективных модификаторов, что позволит разработать функциональные поверхностно- и объемно-модифицированные цеолитовые сорбенты и ионообменники, оптимальные для очистки токсичных стоков.

ВЫВОДЫ

Определена динамическая обменная емкость природного цеолита, модифицированного натрием хлористым, при его загрузке в сорбционно-ионообменный фильтр и пропускании модельного раствора шахтных вод с заданными начальными концентрациями химических веществ. Для исследуемых химических элементов установлены логарифмические зависимости объема очищаемого модельного раствора от концентрации загрязнителей при коэффициенте аппроксимации 0,50-0,94. При средней эффективности очистки воды, кроме кремния и натрия, по катионам – от 69,9 % до 97,9 % и по анионам – от 0,8 % до 68,0 % общая ионообменная и сорбционная емкость модифицированного цеолита составила 0,1549 мг-экв/г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матлак Е.С. Анализ проблемы деминерализации шахтных вод и перспективных направлений ее решения / Е.С. Матлак, Е.Л.Огородник. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 13 с.
2. Способы улучшения обменных свойств цеолитсодержащих фильтрантов при их модификации / С.А. Гречка, А.В. Володин, Я.Ю. Антонин, Н.А. Мартынова // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства: VIII междунар. науч.-техн. конф., 23-24 окт. 2024 г.: сб. тезисов докл. – Алчевск: ДонГТУ, 2024. – С. 270-272.

3. Akhigbe L, Ouki S, Saroj D, Lim XM. Silver-modified clinoptilolite for the removal of Escherichia coli and heavy metals from aqueous solutions. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2014 Sep; 21(18):10940-8. doi: 10.1007/s11356-014-2888-6. Epub 2014 Apr 23. PMID: 24756684.
4. Смоленцева Е.В. Формирование активных состояний золота в модифицированных цеолитах: автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. хим. наук: спец. 02.00.04 «Физическая химия» / Е.В. Смоленцева. – Томск: ТПУ, 2006. – 22 с.
5. А.с. № 889611 СССР, МКИ С01 В 39/02. Способ модификации цеолита / В.П. Нестеренко, В.А. Астахов, А.С. Демидова, Т.А. Жарская. – № 2650771; заявл. 24.07.78; опубл. 15.12.81, Бюл. № 46.
6. Модификация природного цеолита для улучшения сорбционных свойств по бенз(а)пирену / Кузнецова Н.С., Риккер Ю.О., Кобылкин М.В., Дарбинян З.Г. // Международный научно-исследовательский журнал. № 6 (144). Июнь. 2024. 6 с. – <https://research-journal.org/media/articles/12852.pdf> (дата обращения 27.02.2025).
7. Сертификат (паспорт качества) на адсорбент цеолитовый природный Холинского месторождения ТУ 2163-002-12763074-97 / Дата выпуска 10.04.2024. Партия № 00/00/00/111 // СПб. ООО «РБР». 2024. – 1 с.
8. Степановских Е.И. Межчастичные взаимодействия в ионных системах / Электрон. текст. издание // Екатеринбург: УрФУ, 2017. 60 с. – https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1740640124&tld=ru&lang=ru&name=OP_XТИ_940%20Степановских.pdf&text=одновалентная%20соль&url=https%3A%2F%2Fstudy.urfu.ru (дата обращения 27.02.2025).
9. Скопина Ю.И. Электролитическая диссоциация: Метод. указания / Ю.И. Скопина. – Новгород: ННГАСУ, 2012. – 30 с.
10. Обоснование параметров стенда для исследования реагентных материалов при очистке шахтных вод Донецкого региона сорбционным и ионообменным методами / А.В. Володин, С.А. Гречка, Н.А. Мартынова, В.А. Иванченко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. / МАКНИИ. – 2024. – Вып. 3 (66). – С. 32-38.
11. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / Утв. Глав. гос. сан. врач РФ, пост. № 2 от 28.01.2021, с изм. на 30.12.2022 // <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения 27.02.2025).

Получено: 10.03.2025.

Рекомендовал к опубликованию канд. техн. наук Маркин В.А.

UDC 628.31

**A.V. VOLODIN, head of laboratory,
S.A. GRECHKA, junior research worker; MAKNI, Makeyevka**

**IMPACT OF IONIC SALINE FORM OF ZEOLITE ON ITS EXCHANGE
PROPERTIES UNDER DYNAMIC PURIFICATION OF A
MULTICOMPONENT SIMULATED SOLUTION OF MINE WATERS**

The dynamic exchange capacity of natural zeolite modified with ionic salt formed with monovalent cation and anion has been determined. During purification of a multicomponent simulated solution with concentrations of chemical pollutants common to Donbas mine waters the dependences have been determined between the consumption of the solution being cleaned and the concentration of chemical elements in water after cleaning; the calculated values have been obtained for filter expected life for each pollutant before reaching the maximum permissible concentrations in drinking water.

Keywords: zeolite, exchange capacity, form, monovalent ionic salt, ion exchange, sorption, mine water, purification, expected life of a filter.

УДК 622.817

В.Ю. ДЕРЕВЯНСКИЙ, ст. науч. сотр.,
В.В. ДЕНЬГА, зав. лаб.; МАКНИИ, г. Макеевка

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛОЧНЫХ ЗАСЛОНОВ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ МЕТАНОПЫЛЕВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Проведен анализ специальной технической литературы и материалов расследования аварий с несчастными случаями, произошедшими в угольных шахтах в результате взрывов метанопылевоздушных смесей. Определены основные недостатки полочных заслонов, используемых в шахтах для локализации взрывов.

Ключевые слова: анализ, расследование, авария, несчастный случай, взрыв метанопылевоздушной смеси, недостатки полочных заслонов, локализация взрывов.

Взрывы метанопылевоздушных смесей в угольных шахтах приводят к травматизму работников, в т.ч. со смертельным исходом. За период 1991-2013 гг. на Донбассе в результате взрывов погибли 331 шахтер, что составляет 13,74% от всех смертельно травмированных в угольной отрасли. В 2014-2022 гг. на шахтах ДНР погибли 183 шахтера, в т.ч. от взрывов – 52 чел. (28,42%). Наиболее тяжелые аварии произошли в результате взрывов метана с участием угольной пыли:

– 17.02.2014 на ОП «Шахта «Северная» ГП «Макеевуголь» травмированы 19 шахтеров, в т.ч. 7 – смертельно;

– 04.03.2015 на ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько» травмированы 50 шахтеров, в т.ч. 34 – смертельно.

17.11.2020 на ОП «Шахта им. А.А. Скочинского» ГП «ДУЭК» самовозгорание угля привело к взрывам метановоздушной смеси (МВС) с участием угольной пыли, вследствие чего погибли 4 шахтера.

Для снижения тяжести последствий подобных аварий, предотвращения последующих взрывов на шахтах применяют средства для их локализации, препятствующие распространению фронта пламени по горным выработкам и не позволяющие воспламенить взрывоопасные концентрации метанопылевоздушных смесей (МПВС).

В настоящее время в шахтах для локализации взрывов МПВС используют полочные сланцевые и водяные заслоны.

Цель работы – установить недостатки полочных водяных и сланце-

вых заслонов на основании анализа специальной технической литературы и материалов расследования аварий, произошедших в результате взрывов метанопылевоздушных смесей.

«Инструкцией по аэрологической безопасности угольных шахт» предусмотрено использование полочных водяных и сланцевых заслонов для локализации взрывов МПВС [1]. Принцип работы полочного заслона основан на опрокидывании полок с инертной пылью или с сосудами, заполненными водой, в результате действия ударной волны, возникающей при взрыве [2].

Согласно ГОСТ Р 56690-2015 [3], сланцевые заслоны используются для тушения фронта пламени и позволяют остановить распространение балансирующих и слабых взрывов в начальной стадии их развития, предотвращая возникновение новых взрывов. Сланцевые заслоны эффективны при их использовании в качестве системы, состоящей из отдельных, установленных в строго определенном порядке полок с инертной пылью. Предотвращение распространения взрывов по горным выработкам заключается в том, что ударно-воздушная волна, образованная в результате взрыва метана и/или угольной пыли, при подходе к сланцевому заслону разрушает полки с инертной пылью, которая переходит во взвешенное состояние по всему сечению выработки и гасит подошедший фронт пламени.

В соответствии с ГОСТ Р ЕН 14591-2-2012 [4], водяные заслоны являются автономными системами защиты, позволяющими уменьшить последствия воспламенения рудничного газа и/или взрывов в подземных выработках.

Рассмотрим эффективность применения полочных сланцевых и водяных заслонов на конкретных примерах.

09.06.1992 на шахте «Суходольская–Восточная» ПО «Краснодонуголь» произошел взрыв МВС с участием угольной пыли, в результате которого погибли 59 работников шахты и 4 горноспасателя, 50 работников получили травмы различной степени тяжести. Причиной загазирования явилась необеспеченность забоя необходимым количеством воздуха. Наличие в забое и горных выработках взрывоопасных отложений угольной пыли обусловлено несвоевременным и некачественным выполнением противопылевых мероприятий. Источником воспламенения МВС явилась электрическая искра между оголенной жилой и броней деформированного кабеля, питающего пусковую аппаратуру.

Отсутствие защиты забоя сланцевыми заслонами и недостаточное их количество в сети горных выработок не позволило локализовать взрыв.

По остаткам разбросанных элементов заслонов установлено, что они сооружались с нарушением требований правил безопасности и типовых проектов. Нарушения мероприятий для предупреждения и локализации

взрывов угольной пыли явились причиной ее участия во взрыве и распространении ударной волны по сети горных выработок общей протяженностью около 17 км.

04.04.1998 на шахте им. А.А. Скочинского ГХК «Донуголь» произошел взрыв МВС и угольной пыли. Взрыв произошел в надбункерном пространстве западного магистрального конвейерного штрека. Взрывоопасная МВС образовалась в застойной непроветриваемой зоне в результате выделения метана из угля, находящегося в бункере. Причиной накопления взрывоопасной концентрации угольной пыли в магистральных конвейерных штреках явилось несвоевременное и некачественное выполнение мероприятий по пылевзрывозащите. При обследовании сланцевых заслонов установлено, что они были расставлены в соответствии с требованиями правил безопасности. Однако в результате детального осмотра уцелевших и опрокинутых полок отдельных заслонов выявлено, что они были заполнены инертной пылью на 30-50% от требуемого объема, поэтому они не обеспечили эффективное гашение взрыва.

11.03.2000 на шахте им. Н.П. Баракова ГХК «Краснодонуголь» авария произошла в результате разгерметизации кислородного баллона в месте образования пылевоздушной смеси (ПВС) взрывоопасной концентрации.

21.01.2001 на шахте ГХК «Краснолиманская» произошла авария в результате взрыва МВС. Причиной накопления метана и загазирования выработанного пространства лавы явились динамические процессы во вмещающих породах, которые привели к интенсивному выделению метана из угольных прослоек и газоносных песчаников кровли и почвы пласта. Взрыв распространился по вентиляционному штреку и явился причиной возникновения пожара в выработанном пространстве лавы и примыкающим выработкам. Пожар в выработанном пространстве принял неконтролируемый характер, поэтому для его ликвидации потребовалась изоляция участка лавы с последующим его заполнением инертными газами.

О срабатывании заслонов и разрушениях в горной выработке в материалах расследования аварии указано следующее:

- сланцевый заслон сработал;
- разрушены изолирующая перемычка с грузовым ходком и вентиляционные двери между грузовым ходком и уклоном;
- в 30 м от заезда в грузовой ходок находятся 2 забуренных вагона, заполненных на 2/3 объема инертной пылью.

13.08.2006 на шахте «Суходольская–Восточная» ОАО «Краснодонуголь» произошел взрыв МВС, образовавшейся вследствие поступления метана из непрогнозируемого геологического нарушения пласта и его накопления в пустотах, созданных неисправными исполнительными орга-

нами комбайна УКД 200-250 в кровле пласта. Воспламенение МВС произошло в результате фрикционного искрения во время выемки угля исполнительным органом комбайна с нарушенной искровзрывозащитой. Шнеки комбайна оборудованы внутренним орошением «под зубок», однако вода к ним не подавалась. Датчик контроля содержания метана не был установлен в нижней части лавы, а был вынесен на конвейерный штрек на расстояние 11 м от лавы.

Сланцевый заслон был установлен в 20 м от «окна» лавы, вместо 60 по правилам безопасности, со стороны поступающей струи воздуха. Первые 6 полок заслона были разрушены, 10 полок упали на почву, 4 полки зависли. При этом основная часть инертной пыли осталась в емкостях.

В материалах расследования аварий фиксируется только факт срабатывания или несрабатывания заслонов. Достоверным признаком того, что заслон выполнил свою функцию, является наличие следов температурного воздействия в горных выработках перед заслоном и отсутствие следов пламени на протяжении горной выработки за заслоном.

Следует отметить, что в [5] утверждается, что пассивный сланцевый заслон может локализовать взрыв лишь на определенной стадии развития взрывного процесса и в очень узком диапазоне скорости распространения фронта пламени 140 м/с – 284 м/с. Кроме того, эти заслоны малоэффективны при гашении взрывов только МВС. В самом принципе действия сланцевого заслона заложено техническое противоречие. При слабых взрывах ударная волна не в состоянии опрокинуть полки с инертной пылью, а при сильных взрывах вследствие малой скорости срабатывания не успевает сформироваться облако инертной пыли на пути распространения фронта пламени.

Авария на шахте «Ульяновская» 19 марта 2007 года в очередной раз показала неэффективность сланцевых заслонов. Все сланцевые заслоны были разбиты и сланцевая пыль рассыпана по горной выработке, однако взрыв угольной пыли не только не был локализован, но продолжал развиваться, увеличивая свою мощность и, соответственно, скорость распространения, т.е. сланцевые заслоны не выполнили свою функцию [5].

С этим выводом согласны авторы [6], отмечающие, что скорость срабатывания заслонов несравнима с динамикой распространения фронта пламени по горным выработкам.

Известно, что в середине 60 годов XX века на шахтах Германии использование сланцевой защиты фактически было запрещено вследствие ее неэффективности и угрозы для здоровья шахтеров [7].

С увеличением расхода воздуха и сечений выработок резко возрастает локальная турбулентность вентиляционной струи, обуславливающая унос свежей пыли с полок, а при нахождении в атмосфере с относительной

влажностью более 80 % пыль слеживается, что требует ее частой замены. В целях увеличения срока пригодности допускалось полки заслона загружать расфасованной в мешки инертной пылью. После аварии на шахте «Ульяновская» такая загрузка запрещена, так как пыль не перешла во взвешенное состояние и осталась в мешках, т.е. заслоны не локализовали взрыв [7].

Сланцевый заслон способен сохранять свою эффективность при скорости распространения пламени до 200 м/с, а водяной заслон – до 280 м/с при количестве инертной пыли или воды в заслоне не менее 400 кг (л) на 1 м² площади сечения выработки в свету в месте установки заслона, т.е. пассивные заслоны эффективны только при подавлении балансирующих и слабых взрывов.

В шахтных условиях трудно выполнить эти нормы, поэтому практика свидетельствует о повседневном нарушении действующих требований. По указанным причинам применение, как водяных, так и сланцевых заслонов на практике оказывается неэффективным. Ориентирование на применение сланцевой защиты угольных шахт – путь малоэффективный и бесперспективный, что подтверждается практикой использования сланцевых заслонов за период более чем 100 лет.

На основании изложенного недостатки полочных сланцевых и водяных заслонов заключаются в следующем:

- ограниченная область применения для гашения фронта пламени взрыва. При «тихих» взрывах энергии ударной воздушной волны недостаточно для опрокидывания полок, а при «сильных» взрывах вследствие высокой инерционности срабатывания фронт пламени успевает проскочить заслон;
- открытая конструкция предполагает контакт находящейся на полках инертной пыли с влажной и запыленной шахтной атмосферой, что снижает эффективность и срок службы заслона;
- влияние «человеческого фактора» на работоспособное состояние заслона, в связи с тем, что слежавшаяся инертная пыль своевременно полностью не заменяется, а перемешивается с вновь добавленной;
- ограниченное применение в наклонных выработках;
- трудоемкость перемещения заслонов;
- неравномерное распределение инертной пыли по сечению выработки после опрокидывания полок, вследствие чего возможен проскок пламени под кровлей или в нижней части выработки (имели место случаи проскока пламени под стовами конвейеров);
- эффективность водяных полочных заслонов зависит от степени диспергирования воды, на которую оказывают значительное влияние па-

раметры ударной воздушной волны, чем больше энергия ударной волны, тем меньше размер капель воды, и наоборот.

Полученные результаты анализа будут использованы в дальнейших исследованиях при разработке конструкции заслона взрывного типа для локализации взрывов МПС в угольных шахтах.

ВЫВОДЫ

На основе анализа литературных источников и материалов специального расследования аварий с несчастными случаями, произошедшими в угольных шахтах в результате взрывов метанопылевоздушных смесей, определены основные недостатки полочных водяных и сланцевых заслонов для локализации взрывов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт [утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.12.2020 № 506] – Текст электронный // <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=437999&ysclid=m2oegj6tu319605894> (дата обращения 07.03.2025).
2. 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.
3. 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 07.03.2025).
4. ГОСТ Р ЕН 14591-2-2012 Горные выработки подземные. Системы взрывопреупреждения и взрывозащиты. Часть 2. Пассивные водяные заслоны. – Текст: электронный // URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/53871/?ysclid=m4lbbfxn41335678917> (дата обращения 07.03.2025).
5. Авария на шахте им. А.Ф.Засядько. – Текст: электронный // URL: <https://asvplv.ru/accidents1> (дата обращения 07.03.2025).
6. Горлов Ю.В. Принципы локализации взрывов пылеметановоздушных смесей автоматическими системами в горных выработках: Проблемы аэрологии и безопасности горных предприятий /

Ю.В. Горлов, А.Ю. Горлов. – Текст: электронный //URL: <https://https://cyberleninka.ru/article/n/printsipy-lokalizatsii-vzryvov-pylemetanovozdushnih-smesey-avtomaticheskimi-sistemami-v-gornyh-vyработках> (дата обращения 07.03.2025).

7. Предупреждение и локализация взрывов газа и пыли в угольных шахтах / А.В. Джигрин, Г.А. Поздняков, А.И. Новосельцев, А.П. Коренев // Безопасность труда в промышленности. – 2009. – № 4. – С. 22-26.

Получено: 10.03.25

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDK 622.817

**V.Y. DEREVYANSKY, senior research worker,
V.V. DENGА, head of the laboratory; MAKNIИ, Makeyevka**

ANALYSIS OF THE USE OF SHELF BARRIERS FOR LOCALIZATION OF EXPLOSIONS OF METHANE-COAL-DUST-AIR MIXTURES IN COAL MINES

The analysis of special technical publications and proceedings of investigations of accidents that occurred in coal mines as the result of explosions of methane-coal-dust-air mixtures is carried out. The main disadvantages of shelf barriers used in coal mines to localize explosions have been identified.

Keywords: analysis, investigation, accident, safety incident, explosion of methane-coal-dust-air mixture, disadvantages of shelf barriers, localization of explosions.

УДК 622.831

А.Д. БОНДАРЕНКО, *ст. науч. сотр., МАКНИИ, г. Макеевка*

О ПРОВЕДЕНИИ ВЫРАБОТОК РОТОРНЫМИ КОМБАЙНАМИ В ПОРОДАХ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА, ОПАСНЫХ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ

Предоставлены результаты проведения выработок в породах, опасных по динамическим явлениям, буровым способом на шахтах Донбасса в породах осадочного генезиса и при строительстве тоннеля в Дагестане в породах, опасных по газодинамическим явлениям метаморфического генезиса.

Ключевые слова: охрана труда, инструкция, требования, динамические явления, выбросы породы и газа.

На действующих шахтах ДНР предусмотрено повышение добычи угля в два раза, что потребует не только интенсификации горных работ, но и увеличение количества действующих очистных забоев, в том числе на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к газодинамическим явлениям (ГДЯ).

Ранее безопасное проведение горных выработок по выбросоопасным породам осуществлялось буровзрывным способом или буровым способом комбайном роторного типа [1,2,3].

В настоящее время капитальные горные выработки протяженностью до 1,0 км проводят в крепких песчаниках только буровзрывным способом [4,5,6,7,8,9].

В Донбассе накоплен опыт применения комбайнов роторного типа для уменьшения интенсивности выбросов породы и газа при проведении горных выработок, протяженностью более 1,0 км, однако действующими правилами [1] использование этого способа не предусмотрено.

Обеспечение безопасности проведения горных выработок с использованием проходческих комбайнов роторного типа в породах, опасных по ГДЯ, и снижение интенсивности выбросов актуально.

Целью работы является анализ опыта использования роторных комбайнов при проведении капитальных горных выработок по выбросоопасным породам различного генезиса.

Для данного способа ранее действующая "Инструкция..." предусматривала использование комбайнов, оснащенных специальным исполнительным органом [2]. Предотвращение выбросов при проведении вырабо-

ток проходческими комбайнами по выбросоопасным породам достигается благодаря уменьшению скорости разрушения пород и снижению напряжений на контуре выработки приданием ей круглой, а забою – полусферической формы. Разрушение породного массива осуществляют комбайном, оснащенным специальным исполнительным органом кернового или полусферического типа. При этом скорость проведения выработок по породам с высокой степенью выбросоопасности не должна превышать 0,5 м/час, а по породам со средней степенью выбросоопасности – 1 м/час. Они основаны на теоретических и экспериментальных работах [5,9], выполненных на шахтах Донбасса при проведении более 1,0 км выработок по выбросоопасным песчаникам комбайнами с различной формой исполнительного органа.

В зонах высокой и средней степени выбросоопасности комбайном с керновым исполнительным органом были проведены две выработки по выбросоопасному пласту песчаника $h_4'Sh_6'$ на шахте имени А.А. Скочинского. Степень выбросоопасности определялась по данным при бурении керновой скважины. Протяженность проведенных выработок составила 55 м. В восточном полевом откаточном штреке № 2 восточного воздухоподающего ствола № 1 проведено 8 м. Выбросоопасный песчаник располагался по всему сечению выработки, в кровле – выбросоопасный песчаник и песчанистый сланец. Выбросов или обрушений кровли не было. В западном полевом откаточном штреке № 2 проведено 47 м выработки при наличии высокой степени выбросоопасности песчаника, а 200 м – полусферического по песчанику средней степени выбросоопасности. Выбросоопасный песчаник располагался по всему сечению выработки и в кровле на высоту более 2 м. Выбросы породы и газа отсутствовали. Происходило обрушение кровли выработки до 2 м высотой на участке высокой степени выбросоопасности и до 1 м – средней. Дальнейшие промышленные испытания выполнялись с исполнительным органом полусферического типа.

Общая протяженность выработок по выбросоопасному песчанику L_1Sl_1 низкой и средней степени выбросоопасности шахты им. А. Стаханова составила более 2 км при проведении двух выработок. А на шахте им. 22 съезда КПСС по песчанику $n_1SN_1^6$ низкой и средней степени выбросоопасности – 1000 м, и неопасному по выбросам песчано-глинистому сланцу 303 м. ГДЯ отсутствовали.

Бурение скважин керновым способом диаметром от 32 мм до 300 мм не сопровождалось ДЯ, а диаметром 1000 мм сопровождалось микровыбросами породы и газа.

При перебурировании выбросоопасных участков, определяемых в ре-

зультате предварительно пробуренной вертикальной керновой скважины на всю высоту проводимой выработки, происходили удары в массиве и зажатие бурового инструмента. При этом из скважины высыпалась буровая мелочь со следами хрупкого разрушения, характерными для выброса. Стенки скважин в местах, где происходили ДЯ, разрушались на глубину до 0,4 м. Это свидетельствовало о возможности возникновения выбросов породы и газа при механическом разрушении пород по всему сечению выработки.

При проходке вертикального ствола по песчаникам шахтобурильной машиной SWVI-500/600 диаметром 6 м на месторождении Северной Рейн-Вестфалия в Германии произошли 5 выбросов породы интенсивностью от 5 до 110 т и выброшено метана от 100 до 1030 м³. Выбросы происходили при скорости бурения 3 мм/мин. При бурении керновой скважины диаметром до 1,4 м в том же песчанике выбросов не было. После первого выброса управление шахтобурильной машиной при пересечении песчаников производилось дистанционно, с расстояния не менее 60 м.

Известно, что при строительстве деривационного тоннеля № 1 Ирганайской ГЭС в Дагестане использовался механизированный проходческий комплекс фирмы "Роббинс" с исполнительным органом диаметром 10 м.

Комплекс последовательно пересекал породы, неопасные по ГДЯ до появления первого выделения метана на ПК 42+99 после проходки 739 м тоннеля. Затем выработка проводилась с применением специальных мероприятий. Для обеспечения безопасного проведения тоннеля были разработаны рекомендации, а затем нормативные документы, в которые вошли требования по созданию трех линий защиты в случае возникновения внезапного выброса. Первая линия предусматривала использование исполнительного органа в качестве щита для остановки процесса саморазрушения породы в выбросоопасных зонах. Вторая линия обеспечивалась автоматическим контролем концентрации метана, ограничением скорости подачи исполнительного органа на забой. Третья обеспечивалась наличием газонепроницаемой кабины для машиниста комплекса с подачей сжатого воздуха и устройств его отвода.

В соответствии с разработанной "Временной инструкцией по безопасному проведению деривационного тоннеля № 1 Ирганайской ГЭС в породах, опасных по газодинамическим явлениям" скорость проходки снизили с 3,0 м/час. до 0,25 м/час. В опасных зонах происходили обрушения кровли и боков выработок. Выбросы породы и газа отсутствовали, однако самоподдерживающее разрушение породы происходило.

При пересечении зон, опасных по выбросам, наблюдалось снижение давления ротора на забой в 1,5-2 раза. Забой разрушался легче, хотя доля

песчаника в сечении выработки возросла с 10 % до 50 %, наблюдалось самоподдерживающееся хрупкое разрушение песчаника, происходящее по ходу выработки, и редко боковых пород.

Начиная с ПК 35+95 и по ПК 34+40 и далее до ПК 20, участок тоннеля был отнесен к опасным по ГДЯ.

Для исследования были отобраны пробы в забоях после разрушения пород исполнительными органами роторного типа в выбросоопасных зонах тоннеля и шахты имени А.Г. Стаханова.

Сравнение характера разрушения песчаников, залегающих по трассе тоннеля, в выбросоопасных зонах (на ПК 27+60) с характером разрушения песчаника $LS\ell_1$ при выбросах на шахте им. А.Г. Стаханова подтвердило их идентичность. Благодаря применению "Временной инструкцией ..." выбросов породы и газа силой более 500 кг в проводимом тоннеле, удалось избежать.

В МАКНИИ выполнены исследования и предложен способ для предотвращения выбросов при проведении выработок комбайнами роторного типа по выбросоопасным угольным пластам с вмещающими породами крепостью более 6 по шкале профессора М.М. Протоdjяконова, доказавшие возможность и перспективность использования комбайнов [10].

Особый интерес представляет устойчивость капитальных выработок, проводимых по выбросоопасным песчаникам. Так, например, на шахте им. А.А. Скочинского в период проведения капитальных выработок по выбросоопасному песчанику были оборудованы три замерные станции на различных глубинах. Две станции располагались в местах, где происходили выбросы песчаника и метана при буровзрывном способе проведения выработок, третья – на участке проведения восточного полевого штрека на глубине 1200 м, не закрепленного крепью, комбайном кернового типа ПКМ-1 на участке. На замерных станциях № 1 и № 2 максимальные смещения кровли составили соответственно 37,5 мм, 66,3 мм, а боков и почвы выработки – 26,2 мм и 19,1 мм. Наблюдения продолжались в течение 1095 и 983 суток. На третьей станции суммарное смещение почвы и кровли составило 38,8 мм, боковых пород – 18,9 мм, продолжительность наблюдений – 300 суток.

Крепь во время наблюдений находилась в хорошем состоянии, при этом нарушения сплошности пород не отмечено, несмотря на то, что между крепью и породой были оставлены зазоры. На станции № 3 существенных разрушений поверхности песчаника не отмечено, а появление вывалов в кровле было обусловлено многократным воздействием распорных домкратов комбайна [5]. В настоящее время, т.е. через 25 лет после наблюдений, крепь в районах замерных станций находится в рабочем состоянии

и не требует ремонта.

Следует отметить, что размещение выработок в песчанистых и глинистых сланцах приводит к резкому деформированию крепи. Так, на этой же шахте часть восточного полевого штрека № 1 была пройдена за пределами выбросоопасного песчаника $h'_4Sh'_6$ в глинистых сланцах. Сечение штрека уменьшилось в 4 раза еще до пуска шахты в эксплуатацию, и шахтостроители были вынуждены полностью перекрепить данный участок выработки, применив вместо арочной крепи – кольцевую.

Выработки на участках проведения комбайном роторного типа не перекреплялись, находятся в хорошем состоянии до сих пор. Аналогичные примеры можно привести для шахт "Щегловская - Глубокая" (им. К.И. Поченкова), "Кочегарка", им. А.Г. Стаханова.

Изложенное доказывает, что капитальные горные выработки, проводимые на больших глубинах, необходимо располагать в песчаниках, а выбросоопасность и ее возможные последствия устранять путем применения комбайнов роторного типа.

ВЫВОДЫ

Исследования и опыт проведения выработок с использованием комбайнов роторного типа по выбросоопасным песчаникам Донбасса и опасным по ГДЯ метаморфическим породам в Дагестане, показали, что сила выбросов зависит от поперечного сечения проводимой выработки.

Проведение протяженных выработок по выбросоопасным породам следует осуществлять комбайнами роторного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10 декабря 2020 г. № 515 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений». -

URL:<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=383031/> (дата обращения: 13.05.2024).

2. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа. – Москва: ИГД им. А.А. Скочинского, 1989. – 191с.

3. Николин В.И. Временная инструкция по борьбе с выбросами породы и газа при прохождении тоннелей / В.И. Николин, С.Н. Александров,

А.Д. Бондаренко. – Москва: Информэнерго, 1981. – 13 с.

4. Бондаренко А.Д. Усовершенствованные способы снижения интенсивности и частоты выбросов породы и газа / А.Д. Бондаренко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка-Донбасс: МакНИИ. – 2004. – Ч. 1. – С. 99-104.

5. Прогноз и предотвращение выбросов породы и газа / В.Н. Потурев, А.Н. Зорин, В.И. Забигаило [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1986. – 159 с.

7. Бондаренко А.Д. Способы безопасного проведения передовых выработок по выбросоопасным породам на шахтах Донбасса / А.Д. Бондаренко, А.А. Черниговцева // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. / МакНИИ. – 2017. – Вып. 3 (38). – С. 11-19.

8. Бондаренко А.Д. / О проведении передовых выработок уменьшенного сечения в различных горно-геологических условиях / А.Д. Бондаренко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. / МакНИИ. – 2020. – Вып. 3(50). – С. 24-30.

9. Бондаренко А.Д. Буровой способ проведения выработок по породам, опасным по газодинамическим явлениям // Способы и средства создания безопасных условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 2003. – С. 243-247.

Получено: 17.02.25

Рекомендовал к опубликованию канд. техн. наук Лысиков Б.А.

UDC 622.831

A.D. BONDARENKO, senior research worker, MAKNI, Makeyevka

**DEVELOPMENT OF WORKINGS WITH ROTOR COMBINE
MACHINES IN ROCKS OF DIFFERENT GENESIS PRONE
TO DYNAMIC EFFECTS**

This research paper presents the results of development of workings in rocks prone to dynamic effects with drilling method in Donbas mines in rocks of sediment genesis as well as during tunnel construction in Dagestan in rocks prone to gasdynamic effects of metamorphic genesis.

Keywords: labour safety, regulations, requirements, dynamic effects, rock and gas outbursts.

III. ОХРАНА ТРУДА

УДК 622.8:622.233.6

И.Ю. ГОЛИК, мл. науч. сотр., МАКНИИ, г. Макеевка

О ПРЕДОТВРАЩЕНИИ АВАРИЙНОСТИ И ТРАВМАТИЗМА ПРИ ПЕРЕДВИЖЕНИИ УСТАНОВКИ ПОДЪЕМНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ УПА-60/80 МЕЖДУ ВОДООТЛИВНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Изложены требования, предотвращающие аварийность и травматизм при передвижении между гидрозащитными 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».

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

В состав ГУП ДНР «Главное управление реструктуризации шахт» входят водоотливные комплексы с погружными насосами, предназначенными для откачки воды из стволов ликвидированных шахт или специально пробуренных скважин в затопленные горные выработки. Монтаж-демонтаж насосных агрегатов и водоотливных труб на водоотливных комплексах осуществляется установкой подъемной автомобильной УПА-60/80 (УПА). Обеспечение безопасной эксплуатации УПА является актуальным для предотвращения аварий при ее передвижении между обслуживаемыми водоотливными комплексами.

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

Разрабатываемые требования безопасности планируется включить в «Инструкцию по охране труда при эксплуатации установки УПА-60/80», поэтому они должны соответствовать действующим в Российской Федерации нормативным правовым актам «Основные требования к порядку разработки и содержанию правил и инструкций по охране труда, разрабатываемых работодателем» [1] и «Правила дорожного движения Российской Федерации» [2].

В настоящее время действуют Правила, утвержденные Постановлением Совета Министров – Правительства Российской Федерации 23 октября 1993 года, устанавливающие единый порядок дорожного движения на всей территории РФ.

Так как требования [2] распространяются на всех водителей, поэтому для безопасной эксплуатации УПА на гидрозащитных водоотливных комплексах с погружными насосами, водитель установки должен их соблюдать.

Водитель УПА обязан:

- знать и соблюдать сигналы светофоров, знаки и разметку, а также выполнять распоряжения регулировщиков;
- не создавать опасности для движения.
- иметь при себе водительское удостоверение на право управления транспортным средством и по требованию сотрудников полиции передавать им для проверки;
- обеспечить исправное техническое состояние транспортного средства перед выездом и в пути.

Водитель УПА, нарушив [2], несет ответственность в соответствии с действующим законодательством

Запрещается движение при неисправных: тормозной системе, рулевом управлении, сцепным устройством, фарах и задних габаритных огнях в темное время суток или в условиях недостаточной видимости, не действующем со стороны водителя стеклоочистителе во время дождя или снегопада.

При возникновении в пути неисправностей водитель должен устранить их, а если это невозможно, то он обязан следовать к месту стоянки или ремонта с соблюдением необходимых мер предосторожности.

Водителю УПА запрещается:

- пересекать организованные, в том числе и пешие, колонны и занимать место в них;
- употреблять алкогольные напитки, наркотические, психотропные или иные одурманивающие вещества после дорожно-транспортного происшествия, к которому он причастен, либо после того, как транспортное средство было остановлено по требованию сотрудника полиции, до проведения освидетельствования с целью установления состояния опьянения или до принятия решения об освобождении от проведения такого освидетельствования;
- управлять транспортным средством с нарушением режима труда и отдыха, установленного уполномоченным федеральным органом исполнительной власти;
- опасное вождение, выражающееся в неоднократном совершении

одного или нескольких следующих друг за другом действий, заключающихся в невыполнении при перестроении требования уступить дорогу транспортному средству, пользующемуся преимущественным правом движения, перестроении при интенсивном движении, когда все полосы движения заняты, кроме случаев поворота налево или направо, разворота, остановки или объезда препятствия, несоблюдении безопасной дистанции до движущегося впереди транспортного средства, несоблюдении бокового интервала, резком торможении, если такое торможение не требуется для предотвращения дорожно-транспортного происшествия, препятствовании обгону, если указанные действия повлекли создание ситуации, при которой его движение и (или) движение иных участников дорожного движения в том же направлении и с той же скоростью создает угрозу гибели или ранения людей, повреждения транспортных средств, сооружений, грузов или причинения иного материального ущерба.

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.

Масса и распределение нагрузки по осям не должны превышать величин, установленных предприятием-изготовителем для данного транспортного средства.

Установка подъемная УПА60А 60/80 по длине и ширине входит в транспортный габарит. Вес установки составляет 25 тонн, что позволяет ей перемещаться по дорогам общего пользования без дополнительных разрешений.

ВЫВОДЫ

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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).

Получено: 15.01.25

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDK 622.8:622.233.6

I.Y. GOLIK, *junior research worker, MAKNI, Makeyevka*

PREVENTION OF ACCIDENTS AND INJURIES DURING THE TRAVEL OF THE VEHICULAR HOISTING PLANT UPA-60/80 BETWEEN DRAINAGE COMPLEXES

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.

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

УДК 622.8:622.233.6

Л.И. ЯМНЮК, *инж., МАКНИИ, г. Макеевка*

ТРЕБОВАНИЯ ОХРАНЫ ТРУДА ПРИ СПУСКЕ-ПОДЪЕМЕ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ И ТРУБ УСТАНОВКОЙ УПА-60/80 НА ГИДРОЗАЩИТНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Выполнен анализ законодательных, нормативных документов РФ и ранее действовавшего нормативного документа ДНР, определены требования для предотвращения аварийности и травматизма при спуске-подъеме насосных агрегатов и труб на гидрозащитных комплексах для включения в соответствующую инструкцию по охране труда.

Ключевые слова: требования, охрана труда, водоотливный комплекс, установка подъемная автомобильная, дорожное движение, безопасность.

Монтажно-демонтажные работы при спуске-подъеме насосных агрегатов и труб на гидрозащитных водоотливных комплексах предприятий угольной промышленности осуществляются с использованием установки подъемной автомобильной УПА-60/80 (УПА). В связи с изменениями в законодательстве РФ в области охраны труда (ОТ) и промышленной безопасности, актуальна разработка инструкции по ОТ для данного вида работ.

Цель работы – определить требования охраны труда при выполнении монтажно-демонтажных работ на гидрозащитных водоотливных комплексах установкой подъемной автомобильной УПА-60/80.

Проведенный анализ действующих в РФ законодательных, нормативных и эксплуатационных документов, а также нормативных документов, ранее действовавших в ДНР, позволил определить основные требования, предотвращающие аварийность и травматизм, для включения в инструкцию по ОТ при выполнении работ по спуску-подъему насосных агрегатов и труб на гидрозащитных комплексах.

Согласно статье 214 Трудового Кодекса РФ [1] обязанности по обеспечению безопасных условий и ОТ возлагаются на работодателя.

Статья 215 [1] предусматривает следующие обязанности работника в области ОТ:

– соблюдать требования ОТ;

- правильно использовать производственное оборудование;
- следить за исправностью используемых оборудования и инструментов;
- использовать и правильно применять средства индивидуальной и коллективной защиты;
- проходить в установленном порядке обучение ОТ;
- ставить в известность своего непосредственного руководителя о нарушениях технологии, несоответствии используемых сырья и материалов, выявленных неисправностях оборудования и инструментов, приостановить работу до их устранения;
- немедленно извещать непосредственного или вышестоящего руководителя о ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей, о нарушении работниками требований ОТ, о несчастном случае, произошедшем на производстве, или об ухудшении состояния своего здоровья, в том числе, о проявлении признаков профессионального заболевания, острого отравления;
- проходить обязательные предварительные, периодические медицинские осмотры, психиатрические освидетельствования, а также внеочередные медицинские осмотры по направлению работодателя, и (или) в соответствии с нормативными правовыми актами, и (или) медицинскими рекомендациями.

Работа гидрозащитных водоотливных комплексов регламентируется требованиями главы LXII Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правил безопасности в угольных шахтах" [2]. Изготовление, монтаж, обслуживание и ремонт технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах, осуществляется согласно Федеральным Нормам и Правилам промышленной безопасности "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности" [3].

Правила противопожарного режима в РФ [4, гл. IX], устанавливают требования пожарной безопасности, определяют порядок поведения работников, организации производства и (или) содержания территорий, зданий, сооружений, помещений организаций и других объектов защиты в целях обеспечения пожарной безопасности. Ссылки на эти документы должны быть приведены в инструкции по ОТ.

В соответствии с «Руководством по эксплуатации и инструкцией по монтажу и регулированию УПА-60А.00.00.000 РЭ» [5] к работе на УПА допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, инструктаж, производственное обучение, стажировку и провер-

ку знаний правил, норм и инструкций по ОТ.

Перед началом работ УПА должна быть заземлена присоединением заземлителя к колонне обсадных труб, расположенных в скважине.

Для обеспечения исправной работы и длительного срока службы УПА необходимо выполнение всех правил и рекомендаций, изложенных в подпунктах 2.1.1 – 2.1.3, [5], а именно:

- запрещен доступ посторонних лиц к управлению УПА;
- запрещены подъем и опускание мачты, все работы с неисправной гидросистемой;
- подъем и опускание мачты, монтаж УПА на рабочем месте и установка оттяжек мачты должны производиться в соответствии с подпунктом 1.1.4. [5];
- запрещено находиться в кабине автомобиля во время подъема или опускания мачты;
- запрещено снимать защитные кожухи;
- все крепежные детали должны быть предохранены от самоотвинчивания;
- в аварийных случаях допустимо подниматься на мачту по лестнице-стремянке, при этом рабочий должен иметь предохранительный пояс, прикрепленный к страховому устройству.

Пункт 2.3 регламентирует операции при подготовке УПА к работе, при которых:

- переключения коробки передач и зубчатых муфт производить при выключенном сцеплении двигателя автомобиля;
- запрещается пуск УПА, если давление в пневмосистеме не достигло требуемых значений;
- производить подъем и опускание мачты на первой передаче только при одном включенном насос–моторе.

Подпункты 3.1.1-3.1.5. [5] регламентируют виды и периодичность технического обслуживания, а также действия, необходимые при выполнении ежедневного обслуживания.

Движение УПА, габаритные параметры которой превышают по ширине 2,5 м и по высоте 4 м, производится в соответствии с пунктом 23.5 «Правил дорожного движения РФ» [6].

Анализ «Правил безопасности в угольных шахтах» [7], действовавших в ДНР, показал, что некоторые требования раздела «Гидрозащитные шахты и водоотливные комплексы с погружными насосами» актуальны, и их необходимо включить в «Инструкцию по охране труда при выполнении

монтажно-демонтажных работ при спуске-подъеме насосных агрегатов и водоотливных труб на гидрозащитных водоотливных комплексах с применением установки подъемной автомобильной УПА-60/80»:

- спуск-подъем по стволу насосных агрегатов и труб, их монтаж – демонтаж, осуществляемые по специальному паспорту, разработанному руководителем водоотливного комплекса и утвержденному техническим директором предприятия;

- выполнение работником только работ, относящихся к полученному заданию (наряду), за исключением случаев возникновения угрозы аварии, здоровью или жизни;

- перед началом выполнения работ устранить нарушения нормативных и других документов по ОТ;

- знать и выполнять требования паспортов, технологических схем, инструкций и других документов по ОТ;

- соблюдать трудовой и коллективный договоры;

- знать и выполнять инструкции по эксплуатации машин, оборудования и изделий в пределах своей должности;

- знать план ликвидации аварий в части, относящейся к рабочему месту, сигналы аварийного оповещения, правила поведения при авариях, запасные выходы, места расположения средств противоаварийной защиты и самоспасения и уметь ими пользоваться;

- принять меры по устранению опасных производственных ситуаций, сообщать о выявленных опасностях непосредственному руководителю работ или горному диспетчеру;

- не допускать распитие алкогольных напитков, прием наркотических и токсических веществ;

- сотрудничать с руководством шахты в обеспечении и организации безопасных и здоровых условий труда.

- монтаж-демонтаж погружных насосов и труб в стволах и скважинах осуществлять подъемными кранами, специальными подъемными устройствами, а также другими подъемными средствами, разработанными специализированными организациями.

ВЫВОДЫ

Использование изложенных требований при разработке «Инструкции по ОТ при выполнении монтажно-демонтажных работ при спуске-подъеме насосных агрегатов и водоотливных труб на гидрозащитных во-

доотливных комплексах с применением установки подъемной автомобильной УПА-60/80» позволит повысить безопасность работ на гидрозащитных водоотливных комплексах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трудовой Кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ [Принят Государственной Думой 21.12.2001, одобрен Советом Федерации 26.12.2001] – Текст электронный // https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения 02.10.2024).

2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности в угольных шахтах" [утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.12.2020 № 507] – Текст электронный // <https://www.gosnadzor.ru/industrial/coal/Acts/№%20507%20от%2008.12.2020.pdf3> (дата обращения 02.10.2024).

3. Федеральные Нормы и Правила промышленной безопасности "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности" [утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 № 534] – Текст электронный // <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=455965> - (дата обращения 15.08.2024).

4. Правила противопожарного режима в Российской Федерации [утверждены постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479] – Текст электронный // <https://base.garant.ru/74680206/> (дата обращения 15.08.2024).

5. Установка для бурения и ремонта скважин УПА-60/80. Руководство по эксплуатации и инструкция по монтажу и регулированию УПА-60А.00.00.000 РЭ – Текст электронный // <http://izmbt.ru/upa-60/80?ysclid=lztlftc1o121077583> (дата обращения 15.08.2024).

6. Совет Министров - Правительство Российской Федерации Постановление от 23.10.1993 № 1090 о правилах дорожного движения [утверждены постановлением Совета Министров - Правительства Российской Федерации от 23.10.1993 № 1090] – Текст электронный // <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=469812&ysclid=lzqohqw0z9731960418> (дата обращения 12.08.2024).

7. НПАОТ 10.0-1.01-16. Правила безопасности в угольных шахтах. – Донецк: Полипресс, 2016 г., ДНР. – 218 с.

Получено: 14.01.25

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О. Г.

UDC 622.8:622.233.6

L.I. YAMNYUK, *engineer*, MAKNI, Makeyevka

**LABOUR SAFETY REQUIREMENTS DURING HOISTING OF
PUMPING UNITS AND DRAINAGE PUMPS WITH THE USE
OF THE VEHICULAR HOISTING PLANT UPA-60/80
ON WATERPROOF DRAIN COMPLEXES**

The analysis has been carried out of legislative and regulatory documents of the Russian Federation as well as prior regulatory document of Donetsk People's Republic, the requirements for prevention of accidents and injuries during hoisting of pumping units and drainage pipes on waterproof drain complexes with the use of the vehicular hoisting plant UPA-60/80 are determined for incorporation into the corresponding Labour Safety Regulation.

Keywords: requirements, labour safety, drainage complex, vehicular hoisting plant, road traffic, safety.

УДК 622.6.296; 620.193.23

В.В. ЛОБОДА, канд. техн. наук, академик МАНЭБ, зав. лаб.,
Н.А. БЕЛОНОСОВА, зав. отд.,
Е.В. ВЕРЕЩАГИНА, науч. сотр.,
Н.В. МАНЕЦ, мл. науч. сотр; МАКНИИ, г. Макеевка

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОЯВЛЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПЕРЕДВИЖНЫХ ВИНТОВЫХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВКАХ ПРИ ИХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ШАХТНЫХ УСЛОВИЯХ

Дан анализ причин появления аварийно-опасных ситуаций на шахтных передвижных винтовых компрессорных установках, отработавших нормативный срок, и предложены направления повышения безопасности их эксплуатации на шахтах.

Ключевые слова: шахта, передвижные компрессорные установки, специфические шахтные условия, анализ, аварийность, сжатый воздух, безопасность.

Для выработки сжатого воздуха на предприятиях угольной промышленности широко применяются передвижные шахтные винтовые компрессорные установки (УКВШ) [1]. Все шахтные винтовые компрессорные установки (КУ) маслозаполненного типа, в том числе наиболее распространенные УКВШ-5/7, УКВШ-15/7, ЗИФ-ШВ-5М. Необходимо отметить, что винтовые маслозаполненные КУ вследствие использования в них горючих нефтяных масел могут являться источником крупных аварий, сопровождающихся взрывами и пожарами в угольных шахтах.

Значительная часть эксплуатируемых на шахтах ДНР передвижных компрессоров существенно изношена и подвергалась два и более раз капитальным ремонтам. Вследствие отсутствия на шахтах квалифицированных специалистов техническое обслуживание УКВШ ведется не на должном уровне, что приводит иногда к пожаровзрывоопасным ситуациям с тяжелыми последствиями, особенно при использовании КУ в подземных выработках с повышенной запыленностью и наличием метана. Например, в 2021 году аварийная ситуация, возникшая на винтовой компрессорной установке УКВШ-15/7, расположенной в подземных условиях шахты им. А.А. Скочинского, привела к пожару и значительным разрушениям в горной выработке.

Поэтому определение и анализ причин возникновения аварий и

опасных ситуаций на шахтных передвижных КУ является важной задачей для разработки мероприятий, повышающих их безопасную эксплуатацию.

Цель статьи – анализ причин появления аварийно-опасных ситуаций на шахтных передвижных винтовых компрессорных установках при длительной их эксплуатации в специфических шахтных условиях.

Многолетняя практика использования винтовых компрессоров (ВК) в составе передвижных КУ на предприятиях угольной промышленности показала существенную зависимость их эксплуатационных показателей от мест непосредственного размещения установок и их выносных элементов – охладителей воздуха и воды, заборных устройств воздуха и др. На шахтах КУ размещают: в отапливаемых и неотапливаемых зданиях; под легкими навесами; в пристройках к зданиям; на открытых площадках, в том числе вблизи терриконов или непосредственно на площадках терриконов; в околоствольных дворах; в капитальных горных выработках или непосредственно на добычных и проходческих участках [2]. От места размещения, в значительной степени, зависит характеристика окружающей среды в месте забора воздуха компрессором, в том числе, влажность воздуха, степень запыленности, дисперсность и агрессивность механических частиц в воздухе, наличие агрессивных соединений (например, сернистых и т.д.), взрывоопасных газов (например, метана) и др.

В табл. 1 приведены концентрация и дисперсный состав твердых загрязнений в окружающей воздушной среде, всасываемой в компрессоры.

Таблица 1

Концентрация и дисперсный состав твердых загрязнений
в окружающей воздушной среде

Место размещения КУ	Концентрация, мг/м ³	Дисперсный состав твердых загрязнений, %			
		Размеры, мкм			
		0-5	5-20	20-60	более 60
Городские районы с небольшими промышленными предприятиями	0,5-3	5,-30	10-30	15-35	4-70
Городские промышленные районы	1-10	1-5	до 10	до 20	65-80
Промышленные зоны, сборочно-сварочные цеха	3,0-6,0	1-3	1-10	5-20	65-85
Рудники (поверхность)	2,2-20,0	0,1-5	1-10	5-20	65-95

При эксплуатации УКВШ на поверхности угольных шахт в их рабочие полости поступает воздух с загрязнениями, характерными для про-

мышленных районов с дисперсностью частиц пыли от 0,5 мкм до 95 мкм. Частицы, попадающие внутрь компрессоров, влияют на их техническое состояние и безопасность эксплуатации.

Главным критерием обеспечения безопасной эксплуатации УКВШ является температурный режим работы компрессоров и уровень запыленности воздуха, поступающего в компрессор, так как это влияет на пожаро-безопасность КУ. Шахтный воздух, содержит значительное количество мелкодисперсной пожаровзрывоопасной угольной пыли, в ряде случаев до 300 мг/м³. Воздух с частицами мелкодисперсной пыли попадает в рабочие полости шахтных компрессоров через воздушные фильтры и отрицательно сказывается на их надежности и эксплуатационной безопасности. Кроме того, в воздухе, поступившем с поверхности, тоже присутствует некоторое количество твердых частиц, приводящее к загрязнению узлов и систем УКВШ. Установлено, что при работе проходческих комбайнов в забоях откаточных штреков уровни запыленности воздуха могут достигать 1000-3000 мг/м³. Для очистки воздуха в компрессорах применяют воздушные фильтры различной конструкции: инерционно-масляные и сухие двухступенчатые. При такой запыленности инерционно-масляный воздушный фильтр ВМ-12 с масляной ванной и капроновой фильтрующей набивкой, установленный, например, на шахтном компрессоре ЗИФ-ШВ-5, выйдет из строя через несколько часов работы. В табл. 2 приведены данные запыленности воздуха и содержание пылевых фракций при различных источниках пылеобразования в шахте.

Таблица 2

Содержание фракций в % (числитель) и в мг/м³ (знаменатель)
при различных источниках пылеобразования в шахте

Источник пылеобразования	Запыленность, мг/м ³	Фракции, мкм					
		<2	2-5	5-10	10-25	25-50	>50
Перегруз (пересып угля)	77	31,8/ 0,024	26,5/ 0,316	23,2/ 2,46	14,4/ 21,6	2,93/ 37,6	0,17/ 14,8
Струя, выходящая из лавы	169	35,4/ 0,077	26,1/ 0,913	21,7/ 5,71	14,2/ 62,71	2,6/ 99	-
Работающие комбайны	2350	27,6/ 0,86	36,8/ 9,74	18,7/ 43,3	12,8/ 423,5	2,7/ 775	1,4/ 1088

Анализ данных табл. 2 показывает, что запыленность шахтного воздуха может достигать значительных величин от 77 до 2350 мг/м³. При этом достаточно высокий процент пылевых фракций с диаметром частиц менее

10 мкм неблагоприятно отражается на работе ВК с инерционно-масляным фильтром, вследствие быстрого загрязнения теплопередающих поверхностей охладителей, рабочих деталей и узлов внутри КУ. Это приводит к ускоренному износу рабочих узлов, ухудшению работы охладителей масла и, как следствие, нарушению температурного режима работы ВК и возникновению аварийных ситуаций.

Установлено, что инерционно-масляный фильтры (типа ВМ) практически не удерживают частицы пыли диаметром менее 2 мкм, а содержание этой фракции в шахтной атмосфере может достичь 0,5–11 мг/м³, то есть на протяжении суток работы в полости КУ поступит только этих частиц около 7200 мг. Учитывая значительный процент, в среднем 20–30%, пропускаемый этим фильтром пыли фракций 10 мкм, то даже при чистой капроновой набивке он не будет очищать поступающий в компрессор воздух до требуемых параметров в течение длительной эксплуатации.

Практика эксплуатации УКВШ показывает, что более предпочтительно использовать двухкаскадную систему очистки:

- первая ступень – грубая фильтрация – обеспечивает 95%–99 % очистку воздуха от фракций с размером частиц 10 мкм и более;
- вторая ступень – тонкая фильтрация – обеспечивает максимальную очистку воздуха от частиц пыли размером менее 5 мкм – 10 мкм при допустимом гидравлическом сопротивлении фильтра.

Этим условиям удовлетворяют фильтры (очистители воздуха) с сухим фильтрующим элементом из капрона и достаточно развитой полезной площадью фильтрации за счет гофрировки фильтроэлемента. Именно такие системы очистки воздуха применяются на УКВШ-5/7, УКВШ-15/7. Воздухоочистители с фильтром из капрона имеют коэффициент пропуска фракций пыли менее 2 мкм – 5 мкм от 0,01 % до 5,50 % и полезную площадь фильтрации от 2,75 м² до 4,15 м², при этом допустимым гидравлическим сопротивлением считается $\Delta h = 500 - 700$ мм вод. ст. Это обеспечивает возможность эксплуатации фильтров на УКВШ в течение 500 ч без замены в условиях повышенной запыленности окружающей шахтной среды.

Таким образом, анализ условий эксплуатации КУ, в том числе мест их размещения и характеристика окружающей среды – запыленность, влажность, температура – весьма необходим для установления причин появления аварийных ситуаций на шахтных компрессорах [3].

Авторами установлено, что в результате жидкостного трения поверхностей рабочих узлов и деталей происходит их износ, влияющий на аварийность КУ. При зазоре между поверхностями менее номинального, жидкостное трение затруднено вследствие отсутствия жидкостной пленки.

Увеличение зазора до максимального приводит к выдавливанию смазки давлением сжатого воздуха и ускорению износа поверхностей. Поэтому износ деталей не должен превышать критических значений, при которых образуется максимально допустимый зазор, что важно для ВК.

В сопряжениях деталей, вращающихся с частотой менее 5 об/мин, а также в сопряжениях с колебательным движением, условия жидкостного (масляного) трения не могут быть достигнуты, так как гидродинамическое давление смазки, в этом случае, не в состоянии приподнять вал компрессора в подшипнике. Поэтому работа кинематических пар компрессоров происходит в условиях полужидкостного, граничного или полусухого трения. Что касается неподвижных соединений вал-подшипник, то допустимые износы в них определяют исходя из условий сохранения предусмотренной посадки.

При определении предельных зазоров в сопряжении вал-подшипник необходимо проверять их влияние на работу других деталей ВК, расположенных на валу. Так, изменение межцентрового расстояния зубчатой передачи редуктора ВК, например, после ремонта шлицевого вала или замены одной из шестерен редуктора, может вызвать изменение бокового зазора между зубьями, приводящее к «заеданию» или уменьшению поверхности контакта их рабочих профилей. Увеличение зазора, например, в подшипнике электропривода компрессора вызывает опускание ротора в расточке статора и повышенный износ подшипников качения, происходящий, как правило, вследствие нарушения подачи смазки. При эксплуатации, предусмотренной инструкцией для УКВШ, главной причиной выхода из строя подшипников качения являются усталостные повреждения желобов, сепараторов, обойм и элементов качения. При их повреждении подшипник подлежит замене. Несвоевременная замена изношенного подшипника приводит к аварии на КУ, связанной с изменением межцентрового расстояния между роторами ВК, повышенной вибрацией, разрушением посадочных мест подшипников в корпусе компрессора.

При проведении обследований установлено, что у УКВШ производительностью от 5 до 15 м³/мин, часто из строя выходят радиально-упорные подшипники на стороне нагнетания, а производительностью от 25 до 50 м³/мин – радиально-упорные на стороне забора воздуха компрессором. Необходимо учитывать, что осевой зазор у радиальных подшипников с наружным диаметром от 60 до 100 мм – допускается 0,3 мм, с диаметром 100 мм и более – до 0,5 мм.

В соответствии с проведенными исследованиями и накопленным опытом эксплуатации УКВШ-5/7, установлены следующие величины зазоров в его рабочей полости:

- зазор $\delta_{\text{тн}}$ между торцами ведущего винта (ВЩ) и ведомого винта

(ВМ) и корпусом (опорой) со стороны нагнетания ВК: $\delta_{\text{тн.мин}}$ – 0,03 мм, $\delta_{\text{тн.мах}}$ – 0,06 мм;

– зазор торцевой $\delta_{\text{ТВ}}$ между торцами ВЩ и ВМ винтов и корпусом со стороны всасывания ВК: $\delta_{\text{ТВ.мин}}$ – 0,06 мм, $\delta_{\text{ТВ.мах}}$ – 0,09-0,1 мм;

– зазор радиальный между профилями винтов и корпусом: $\delta_{\text{р min}}$ – 0,03 мм, $\delta_{\text{тр max}}$ – 0,1 мм;

– зазор между профилями винтов: $\delta_{\text{пр max}}$ – 0,1 мм.

Нарушение указанных зазоров приводит к ускоренному износу и разрушению узлов ВК.

Износ посадочных мест под подшипники на валах ВЩ и ВМ роторов недопустим, так как это во многих случаях приводит к аварийным ситуациям.

В процессе исследований режимов работы шахтных КУ установлены и другие факторы, существенно влияющие на аварийность в процессе длительной эксплуатации КУ, одним из которых является уровень вибрации, наблюдаемый при износе подшипников. Для оценки технического состояния элементов УКВШ рекомендуется использовать скорость вибрации и виброускорение. Именно эти параметры наиболее полно характеризуют вибрацию элементов КУ, являются показателем ее опасности и позволяют оценить механические повреждения, возникающие в компрессоре.

Вибрация негативно влияет и на конструктивные элементы системы защиты и регулирования режимов работы УКВШ. Так, при повышенной вибрации происходит нечеткая работа регулятора производительности и ускоренный износ рабочих элементов датчика давления, а также выход из строя датчиков реле тепловой защиты ДТР-3М-УТ вследствие ослабления крепежного узла. Повышение уровня вибрации более 8% от номинального значения (2,8 м/с) в месте расположения ДТР не допускается.

При длительной эксплуатации УКВШ в условиях повышенной запыленности достаточно часто возникают аварийные ситуации вследствие неэффективной работы системы охлаждения и смазки ВК, которые должны обеспечивать температурный режим даже в режиме, отличном от номинального. В соответствии с [2] максимально допустимая температура срабатывания тепловой защиты на УКВШ 125°C. Максимально допустимая рабочая температура $T_{\text{р.м}}$ шахтного маслозаполненного ВК в зависимости от температуры окружающей среды должна соответствовать величинам, приведенным в табл. 3.

Максимальная рабочая температура $T_{\text{р.м}}$ в ВК, приведенная в табл. 3, определена из условий отсутствия нарушений в работе узлов и систем КУ, то есть прирост этой температуры на нагнетании ВК, как известно, не дол-

жен превышать 60 °С. Остальные показатели определены в соответствии с требованиями [2] и инструкции по эксплуатации шахтных компрессоров, в которой предусмотрены пределы срабатывания тепловой защиты:

$$T_{\text{ср}} = 110_{-7}^{+15} \text{ °С.}$$

Таблица 3

Максимально допустимая рабочая температура и пределы ее изменения

Температура окружающей среды $T_{\text{окр.среды, °С}}$	Максимальная рабочая температура на нагнетании ВК, $T_{\text{р.м}} \text{ °С}$	Максимальный прирост температуры до срабатывания аварийной защиты, $\Delta T_{\text{ав, °С}}$	Остаточный возможный прирост температуры до срабатывания аварийной защиты, $\Delta T_{\text{ост, °С}}$
2,0	62,0	48	42
20,0	80,0	30	23
26,0	86,0	24	17
30,0	90,0	20	13

Резкий рост температуры более 5 °С в секунду, в рабочих полостях УКВШ, приводит к авариям.

Весьма важным показателем безопасной эксплуатации УКВШ в шахтных условиях является надежная и эффективная работа системы маслоотделения, в том числе парообразной фазы масла, присутствующей в сжатом воздухе при нагнетании в ВК.

До настоящего времени в системах маслоотделения ВК осуществить отделение парообразной фазы до требуемых норм, т.е. менее 5 мг/м³, пока не удалось. В современных конструкциях маслоотделительных систем с использованием супертонкого синтетического волокна удается достичь снижения уноса масла до 5 мг/м³, причем это достигается в начальный период работы фильтров маслоотделителя, а затем эффективность быстро снижается, особенно при работе компрессоров в зонах с повышенной запыленностью. В связи с повышенным уносом паров масла в пневмосеть, следует контролировать температурный режим ВК.

Увеличение потребления сжатого воздуха пневмомеханизмами от 20% до 25% изменяет давление на выходе УКВШ, приводящее к изменениям скорости масловоздушного потока в маслоотделителе и качества очистки сжатого воздуха, его расходу более 66 мг/м³ в системе смазки ВК, и, как следствие, к аварийным ситуациям. На качество фильтрации маслоотделителя оказывает влияние и температура окружающей среды.

С изменением давления в пневмосети от 0,6 до 0,45 МПа унос масла возрастает почти на 30%, а с возрастанием температуры всасываемого воз-

духа от 291°K до 303°K – от 33 % до 39 %.

Как установлено на практике, при дальнейшей эксплуатации ВК, отработавших нормативный срок, унос масла со сжатым воздухом возрастает, поэтому требуется тщательный контроль количества масла в системе смазки. Установлено, что через каждые 100 часов работы УКВШ, унос масла увеличивается в среднем на $(0,3 \div 0,4) \cdot 10^{-6}$ кг/м³.

Таким образом, основные причины появления аварийно–опасных ситуаций на шахтных передвижных КУ связаны с:

- ускоренным износом основных узлов компрессоров, в том числе винтов и корпуса, рабочих органов, редукторов (в том числе, шестерен, шлицевых валов и др.), подшипниковых узлов (шариков, обоймы, сепараторов, посадочных мест под обоймы);
- ухудшением вибрационных характеристик;
- ухудшением температурного режима работы ВК;
- снижением степени очистки всасываемого в компрессор воздуха;
- использованием рабочей жидкости, не соответствующей техническим условиям на данный тип компрессоров;
- неэффективной работой аварийной защиты.

Возможными направлениями повышения безопасной эксплуатации УКВШ являются:

- разработка принципиально новой системы аварийной защиты ВК, предотвращающей аварийные ситуации;
- разработка новых систем очистки всасываемого в ВК воздуха;
- применение современных малоинерционных датчиков для контроля рабочих параметров ВК и т.д.

ВЫВОДЫ

Основные причины появления аварийных ситуаций связаны с износом рабочих узлов винтовых компрессоров, снижением надежности и эффективности работы аварийной защиты вследствие нарушения температурных и вибрационных режимов при длительной эксплуатации шахтных передвижных компрессорных установках в условиях повышенной запыленности, влажности и агрессивности окружающей шахтной среды.

Необходимо проведение работ по совершенствованию систем воздухоочистки и охлаждения УКВШ, эксплуатируемых в специфических шахтных условиях и разработка принципиально новой системы защиты УКВШ, предотвращающей аварийные ситуации, что существенно повысит безопасность труда горнорабочих, и, в первую очередь, операторов, обслуживающих УКВШ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко Г.А. Винтовые компрессоры в системах обеспечения сжатым воздухом / Г.А. Бондаренко, П.Е. Жарков. – Сумы: Из-во СумГУ, 2003. – 130 с.
2. Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОТ 10.0-1.01-16. – Донецк 2016 г., ДНР. – 230 с.
3. Лобода В.В. Повышение надежности и безопасности шахтного винтового компрессора путем нормализации его температурного режима / В.В. Лобода // Стационарное оборудование шахт: сб. науч. тр. / НИИГМ им. М.М. Федорова. – Донецк, 1987. – С. 184-195.

Получено: 10.02.25

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDC 622.6.296; 620.193.23

**V.V. LOBODA, Ph. D. Eng., head of laboratory, member of the
International Academy of Ecology, Man and Nature Protection Sciences
(MANEB),
N.A. BELONOSOVA, head of department,
E.V. VERESHCHAGINA, research worker,
N.V. MANETS, junior research worker; MAKNI, Makeyevka**

ANALYSIS OF THE CAUSES OF ACCIDENTS ON MOBILE SCREW COMPRESSOR UNITS DURING THEIR LONG-LASTING OPERATION IN MINE CONDITIONS

The analysis of the causes of accident-prone situations on mobile mine screw compressor units with expired service life, the concepts for improvement of their operation safety in mines are suggested.

Keywords: mine, mobile mine screw compressor units, specific mine conditions, analysis, accident, compressed air, safety.

*Способы и средства создания безопасных и
здоровых условий труда в угольных шахтах*

Выпуск № 1 (январь – март) (68) 2025

Учредитель и издатель

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»
(МАКНИИ)**

Подписано к печати 18.03.2025. Выход в свет 24.03.2025.

Формат 60 x 84/8. Тираж 50 экз.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,3 Заказ № 10

Гарнитура *Times New Roman*.

Свободная цена

Адрес редакции и издателя: 286132, Донецкая Народная Республика,
г.о. Макеевка, г. Макеевка, ул. Лихачева, д. 60

Отпечатано на полиграфической базе МАКНИИ:
286132, Донецкая Народная Республика, г.о. Макеевка, г. Макеевка,
ул. Лихачева, д. 60

Телефон: + 7 (8563) 22-22-18, e-mail: maknii2014@inbox.ru

Свидетельство о регистрации средства массовой информации

ААА № 000203 от 26.06.2018 г.

выдано Министерством информации Донецкой Народной Республики