



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

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК НИИ «РЕСПИРАТОР»

№ 3(59)

Выходит 4 раза в год

Основан в 1970 г.

Научный вестник НИИ «Респиратор». – Донецк, 2022. – № 3(59). – 124 с.

Изложены результаты исследований в области защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях, техногенной безопасности, предупреждения и тушения пожаров на шахтах, создания горноспасательной техники, спасения людей при подземных авариях. Журнал внесен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (приказ МОН ДНР № 1134 от 01.11.2016).

Публикуемые материалы предназначены для ученых и специалистов, занимающихся вопросами предупреждения чрезвычайных ситуаций, борьбы с их последствиями, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, работников различных отраслей промышленности.

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

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук	В.Г. Агеев – главный редактор
д-р техн. наук	В.В. Мамаев – заместитель главного редактора
д-р техн. наук	С.П. Греков
д-р техн. наук	С.Е. Гулько
д-р техн. наук	А.Ф. Долженков
д-р техн. наук	С.Г. Ехилевский (Республика Беларусь)
д-р техн. наук	В.А. Канин
д-р техн. наук	А.П. Ковалев
д-р техн. наук	К.Н. Лабинский
д-р техн. наук	Д.Ю. Палеев (Российская Федерация)
д-р техн. наук	Г.П. Стариков
д-р мед. наук	В.В. Черкесов
д-р хим. наук	В.В. Шаповалов

Журнал включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) (договор № 157-03/2016 от 23.03.2016).

Подписан к выходу в свет по рекомендации Ученого совета
ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР» (протокол № 4 от 02.09.2022).

Зарегистрирован Министерством информации ДНР.

Свидетельство о регистрации сетевого издания ААА № 000264 от 09.08.2022.



State Budgetary Establishment
“The Scientific Research Institute “Respirator”
of the Ministry of the Donetsk People’s Republic
for Civil Defence, Emergencies and Elimination
of Consequences of Natural Disasters”

SCIENTIFIC BULLETIN OF THE NII “RESPIRATOR”

No. 3(59)

Published quarterly

Founded in 1970

Scientific bulletin of the NII "Respirator". – Donetsk, 2022. – No. 3(59). – 124 p.

The results of investigations in the field of protection of population and territories in emergencies, of anthropogenic safety, prevention and fighting the fires at the mines, creation of the mine-rescue equipment, life-saving the people by underground accidents are expounded. The journal is included in the list of reviewed scientific publications in which the basic scientific results of dissertations for degrees of doctor and candidate of sciences should be published (order of the Ministry of Education and Science of the Donetsk People's Republic no. 1134 from 01.11.2016).

The materials being published are intended for scientists and specialists concerning with the problems of prevention of emergencies, fighting their consequences, lecturers, postgraduate students and students of institutes of higher education, workers of various industries.

Founder and publisher – State Budgetary Establishment "The Scientific Research Institute "Respirator" of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters".

Editorial board:

Dr. Sci. (Tech.)	V.G. Ageyev – editor-in-chief
Dr. Sci. (Tech.)	V.V. Mamayev – deputy editor-in-chief
Dr. Sci. (Tech.)	S.P. Grekov
Dr. Sci. (Tech.)	S.Ye. Gulko
Dr. Sci. (Tech.)	A.F. Dolzhenkov
Dr. Sci. (Tech.)	S.G. Yekhilevskiy (Republic of Belarus)
Dr. Sci. (Tech.)	V.A. Kanin
Dr. Sci. (Tech.)	A.P. Kovalyov
Dr. Sci. (Tech.)	K.N. Labinskiy
Dr. Sci. (Tech.)	D.Yu. Paleyev (Russian Federation)
Dr. Sci. (Tech.)	G.P. Starikov
Dr. Sci. (Med.)	V.V. Cherkesov
Dr. Sci. (Chem.)	V.V. Shapovalov

The journal is included in the database of the Russian Science Citation Index (RSCI) (contract no. 157-03/2016 from 23.03.2016).

Approved for release according to the reference of the Academic council of GBU NII "Respirator" EMERCOM DPR (proceeding no. 4 from 02.09.2022).

Registered by the Ministry of Information of the Donetsk People's Republic.

Registration certificate of the network publication AAA no. 000264 from 09.08.2022.

СОДЕРЖАНИЕ***I. Пожарная и промышленная
безопасность***

Греков С. П., Орликова В. П.
Параметры низкотемпературного
окисления угля разной степени
метаморфизма 7

Долженков А. Ф., Лебедева В. В.
Устойчивость огнезащитного покрытия
к воздействию природных
и техногенных факторов 18

Мавроди А. В.
Прогноз газовой обстановки
на выемочном участке
при обесточивании угольной шахты 27

Ефименко В. Л.
Экспериментальные исследования
устройства пожаротушения
с газодинамическим принципом
распыления жидкости 36

***II. Безопасность в чрезвычайных
ситуациях***

Греков С. П., Головченко Е. А.
Математическая модель
динамики адсорбции кислорода
слоем газонасыщенного угля
при необратимой реакции
первого порядка 48

**Пeftибай Г. И., Галухин Н. А.,
Еремин А. В.**
Экспериментальные исследования
погрешности регулятора расхода воды
для смесительно-нагнетательных
установок 58

TABLE OF CONTENTS***I. Fire and industrial safety***

Grekov S. P., Orlikova V. P.
Parameters of low-temperature
oxidation of coal with different grades
of metamorphism 7

Dolzhenkov A. F., Lebedeva V. V.
Resistance of fire-retardant coating
to impact of natural and man-made factors 18

Mavrodi A. V.
Prediction of gas conditions
at working area during blackout
in coal mine 27

Yefimenko V. L.
Experimental investigations
of fire-extinguishing device
with gas-dynamic principle of liquid spray 36

II. Safety in emergencies

Grekov S. P., Golovchenko Ye. A.
Mathematical model of dynamics
of oxygen adsorption layer of gas-
saturated coal during irreversible reaction
of first order 48

**Peftibay G. I., Galukhin N. A.,
Yeryomin A. V.**
Experimental investigations of error of
water flow rate regulator for mixing-
pumping installations 58

**Борисенко Э. В., Службин Ю. А.,
Бударецкий С. И., Чернышев И. А.**
Цифровой измеритель скорости
газовыделения метана

66

Хацько М. С.
Оценка профессионально-
производственных факторов риска
аварий на промышленных предприятиях

73

III. Охрана труда и экологическая безопасность

**Мамаев В. В., Зборщик Л. А.,
Плетенецкий Р. С., Францев В. И.**
Рециклинг шахтных самоспасателей
с химически связанным кислородом,
непригодных для эксплуатации

81

**Гулько С. Е., Гомаль И. И.,
Мачикина Д. В.**
Безопасность использования
шахтных вод в качестве
альтернативного источника
водоснабжения

91

**Долженков А. Ф., Джалетова Е. К.,
Никулина А. А.**
Обоснование мер по снижению риска
загрязнения атмосферы котлами
малой мощности

102

**Капустин В. Б., Мороз Т. О.,
Томилов М. К.**
Анализ нормативных правовых
актов ДНР в сфере радиационной,
химической и биологической защиты

110

**Borisenko E. V., Sluzhbin Yu. A.,
Budaretskiy S. I., Chernyshev I. A.**
Digital methane emission rate meter

Khatsko M. S.
Assessment of professional
and occupational risk factors of accidents
at industrial enterprises

III. Labor protection and environmental safety

**Mamayev V. V., Zborshchik L. A.,
Pletenetskiy R. S., Frantsev V. I.**
Recycling of discarded mine self-rescuers,
chemical oxygen type

**Gulko S. Ye., Gomal I. I.,
Machikina D. V.**
Safety of using mine waters
as alternative source
of water supply

**Dolzhenkov A. F., Dzhaletova Ye. K.,
Nikulina A. A.**
Substantiation of measures for reduction
of risk of atmosphere pollution
by emissions of low-capacity boilers

**Kapustin V. B., Moroz T. O.,
Tomilov M. K.**
Analysis of regulatory legal acts
of the DPR in the field of chemical,
biological and radiological defence

I. Пожарная и промышленная безопасность

УДК 622.822.22:001.891.572

Святослав Павлович Греков, д-р техн. наук, гл. науч. сотр.; e-mail: obep.niigd@list.ru;
Виктория Петровна Орликова, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; e-mail: orlikova.69@yandex.ua
Государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС ДНР»
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: (+38 062) 332-79-07

ПАРАМЕТРЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОКИСЛЕНИЯ УГЛЯ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ МЕТАМОРФИЗМА

Цель. Определение кинетических параметров хемосорбции кислорода на основании экспериментального исследования низкотемпературного окисления угля различной стадии метаморфизма и математического моделирования процесса для последующей оценки вероятности самовозгорания пожароопасного скопления.

Методы. Экспериментальные исследования процесса поглощения кислорода, математическое моделирование гетерогенной адсорбции с учетом протекания химической реакции и феноменологический метод установления параметров этого процесса.

Результаты. На основании экспериментальных изотерм адсорбции кислорода показана принципиальная возможность определения интенсивности химического реагирования окислителя с твердой поверхностью угля. Установлены и исследованы параметры низкотемпературного окисления угля различной стадии метаморфизма, характеризующие адсорбционный процесс и учитывающие физико-химические свойства твердого топлива.

Научная новизна. Впервые предложен метод разделения кинетики поглощенного и прореагировавшего с углем кислорода и получены численные значения параметров хемосорбции кислорода при низкотемпературном окислении.

Практическая значимость. Установленные зависимости кинетики хемосорбции кислорода позволят количественно оценить выделение теплоты в слое скопления угля и возможность его самовозгорания.

Ключевые слова: *низкотемпературное окисление; адсорбция; реакционная поверхность; кинетика; моделирование.*

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Известно, что низкотемпературное окисление угля в условиях горных выработок зависит от многих параметров, главными из которых являются константа скорости химической реакции, фракционный состав, стадия метаморфизма, удельная реакционная поверхность, остаточная газоносность, продолжительность окисления.

На основании теории В. С. Веселовского о кинетике химических реакций, протекающих в диффузионной области, сформулированы следующие особенности этого процесса [1]:

- прямая пропорциональность между скоростью химической реакции адсорбента (угля) и адсорбтива (кислорода), то есть реакция 1-го порядка;
- относительно слабая зависимость константы скорости реакции от температуры;

- зависимость скорости реакции от скорости притока адсорбтива;
- отсутствие влияния давления в системе на скорость реакции.

Исходя из сказанного, особое внимание уделяют изучению константы скорости реакции окисления, приводящей к выделению теплоты и самонагреванию угля.

Экспериментальные исследования процесса окисления углей различной стадии метаморфизма позволили разработать хроматографический метод определения этого параметра в условиях, максимально приближенных к шахтным, и определить численные значения, равные $1 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ [1, 2]. Определена зависимость скорости окисления угля от концентрации кислорода в газовой фазе адсорбтива, однако этот вопрос подлежит дальнейшему изучению.

Исследуя окислительную способность углей в лабораторных условиях, установили связь между размером частиц, загружаемых в хроматографическую колонку, и фактическим гранулометрическим составом твердого топлива с константой скорости его окисления k_p , с^{-1} , в виде [2]

$$k = 4 \cdot 10^{-3} d^{0,6}; k_p = 1,3 \cdot k / H_d,$$

где d – диаметр частиц, мм;

k – константа скорости окисления, определяемая в лабораторных условиях для фракции $(0,3 - 0,5) \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

H_d – диффузионное сопротивление угля, м, определяемое по формуле

$$H_d = H - 2 \cdot 10^{-3};$$

H – высота, эквивалентная теоретической тарелке, м.

На основании результатов экспериментального исследования теплоты, выделяющейся в результате поглощения кислорода q_0 , Дж/моль, и скорости тепловыделения v_{q_0} , Дж/(моль·с), получены следующие выражения, которые могут быть использованы при изучении процесса окисления и нагревания угля [3]:

$$q_0 = 6980 k^{-0,82}; v_{q_0} = 572 (V^{daf})^{0,5},$$

где V^{daf} – выход летучих веществ в угле, %.

В работе [1] при изучении динамики поглощения кислорода углем показано, что константа скорости окисления в течение 250 ч снижается более чем в 10 раз, поэтому предложена зависимость

$$k = \frac{k_0}{1 + \alpha \tau},$$

где k_0 – начальная константа скорости окисления, с^{-1} ;
 a – показатель снижения скорости поглощения кислорода, с^{-1} ;
 τ – время, с.

Дальнейшее изучение низкотемпературного окисления угля показало значительное отличие в концентрациях кислорода, поглощенного твердой поверхностью и вступившего в химическую реакцию, что свидетельствует о необходимости более детальных исследований процесса избирательной адсорбции углей с различными физико-химическими характеристиками [5].

Немаловажную роль в процессе окисления угля играет его остаточная газоносность, влияние которой на химическую активность определено следующим образом [1]:

$$k(\tau) = \frac{k_0}{1 + 0,08\tau + i(1,5 + 10 / \tau)},$$

где τ – время, ч;
 i – остаточная концентрация метана в угле, $\text{м}^3/\text{т}$, равная

$$i = \exp \left[-0,05 D_p \left(\frac{6D\tau}{R^2} \right)^{0,1} \right];$$

D_p – дробимость угля;
 R – радиус частиц угля, м;
 D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{ч}$.

Более подробно истечение метана из угля различной степени метаморфизма изучено в работе [4]; на основании экспериментальных исследований получены численные значения коэффициента диффузии и продолжительности напорного выделения газа из пор твердого топлива.

Изучение механизма гетерогенного процесса поглощения кислорода с точки зрения образования и распада поверхностного комплекса позволило установить динамику изменения реакционной поверхности угля в процессе его окисления [5]

$$\xi = 1 - \exp(-v\tau) + \left(\frac{v+1}{\mu-v} \right) [\exp(-\mu\tau) - \exp(-v\tau)], \quad (1)$$

где v – константа скорости образования поверхностного компонента, ч^{-1} ,

$$v = 2,2 \cdot 10^{-11} E^{3,66}, \quad (2)$$

E – энергия активации, Дж/моль;
 μ – константа скорости выделения метана, ч^{-1} ,

$$\mu = \frac{1,2 \cdot 10^{-3} Q_0}{R^{0,2}} \exp \left[-2,4 \cdot 10^{-2} \left(V^{\text{daf}} \right)^{-0,3} \tau \right]; \quad (3)$$

Q_0 – газоносность пласта, м³/т;

τ – время, ч.

Из приведенного выше анализа следует, что к настоящему времени накоплен значительный материал по определению отдельных параметров процесса окисления газонасыщенных углей. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение их комплексного влияния на кинетику окисления угля, что приводит к выделению теплоты и возможному самовозгоранию.

Таким образом, **цель работы** – определение кинетических параметров хемосорбции кислорода на основании экспериментального исследования низкотемпературного окисления угля различной стадии метаморфизма и математического моделирования процесса для последующей оценки вероятности самовозгорания.

Результаты исследований. Для экспериментальных исследований хемосорбции использованы угли различной стадии метаморфизма ($V^{\text{daf}} = 9,4; 13,2; 26,6; 42,6 \%$) и фракционного состава (0...3, 13...25 мм). Концентрация кислорода в газовой смеси составила 27 моль/м³, и эксперимент проводили до достижения сорбционного равновесия (20...30 сут в зависимости от марки и фракционного состава угля).

Предварительно с помощью хроматографического метода установлены параметры, характеризующие физико-химические свойства выбранного угля, такие как критическая температура, константа скорости и энергия активации реакции окисления.

На лабораторной установке (рис. 1) установлено количество поглощенного кислорода за определенное время a_{τ_i} и общее его количество a_{max} за все время проведения эксперимента τ_{max} , что позволило установить динамику его адсорбции $\bar{a}_{\text{экс}} = a_{\tau_i} / a_{\text{max}} = f(\tau_i)$.

На основании полученных результатов отношения количества поглощенного кислорода к его начальной концентрации C_0 , моль/м³, определен коэффициент Генри

$$\gamma = \frac{a_{\text{max}}}{C_0}. \quad (4)$$

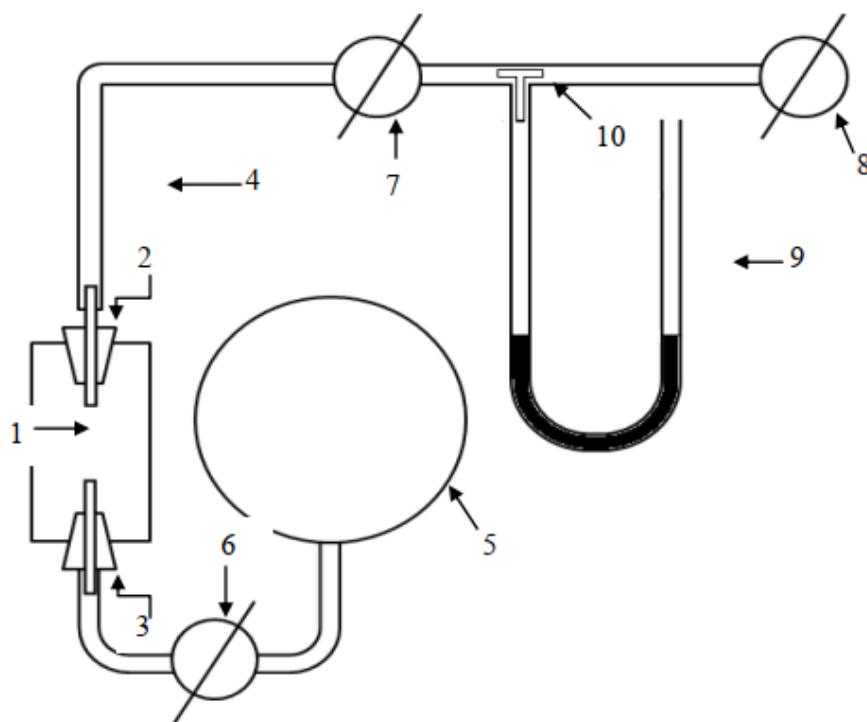


Рис. 1. Схема установки для экспериментального исследования гетерогенной адсорбции:

1 – емкость с адсорбентом (частицы угля определенной фракции); 2, 3 – резиновые пробки со стеклянными трубками; 4 – резиновые соединительные трубки; 5 – емкость с адсорбтивом; 6, 7, 8 – краны; 9 – водяной манометр; 10 – тройник для подсоединения манометра

Воспользуемся решением математической задачи адсорбции веществ зернами адсорбента при наличии химической реакции, которая описывает изменение относительной концентрации хемосорбированного кислорода, в виде [6]

$$\bar{a}_r = \frac{a}{\gamma C_0} = \left\{ g \frac{Ka}{Ka + \Gamma} \{1 - \exp[-Fo_g (Ka + \Gamma)]\} - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} B_k \mu_k^2 \sum_{n=1}^2 \frac{Ka [\exp(p_{kn} Fo_g) - \exp(-Ka Fo_g)]}{\mu_{kn} p_{kn} (Ka + p_{kn})} \right\} (1 - \bar{C}_0), \quad (5)$$

$$\text{где } g = \frac{B_k \mu_k^2}{\mu_k^2 + \gamma Ka \Gamma / (Ka + \Gamma)}; \quad (6)$$

Ka – безразмерный параметр, равный

$$Ka = \frac{\beta_1 R_1^2}{D}; \quad (7)$$

- β_1 – коэффициент адсорбции, с^{-1} ;
 β – коэффициент массообмена, м/с ;
 R_1 – радиус частицы угля, м ;
 D – коэффициент внутренней диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$;
 Γ – безразмерный параметр, характеризующий химическую активность адсорбента,

$$\Gamma = \frac{ka^* R_1^2 \xi S_{\text{уд}}}{D S_{\text{вн}}}; \quad (8)$$

- a^* – концентрация адсорбента, моль/м^3 ;
 $S_{\text{уд}}$ – удельная реакционная поверхность угля, $\text{м}^2/\text{кг}$, зависящая от выхода летучих веществ V^{daf} , %, и равная [7]

$$S_{\text{уд}} = -0,45(V^{\text{daf}})^2 + 18,4 V^{\text{daf}} + 44,8; \quad (9)$$

- $S_{\text{вн}}$ – внешняя поверхность угля, $\text{м}^2/\text{кг}$;
 B_k – постоянные коэффициенты, определяемые из соотношения

$$B_k = \frac{6\text{Bi}_g^2}{\mu_k^2 (\mu_k^2 + \text{Bi}_g^2 - \text{Bi}_g)}; \quad (10)$$

- μ_k – корни уравнения $\text{tg} \mu = -\mu/(\text{Bi}_g - 1)$;
 p_{kn} – корни уравнения, равные

$$p_{kn} = -\frac{\text{Ka}(1+\gamma) + \Gamma + \mu_k^2}{2} \pm \sqrt{\frac{[\text{Ka}(1+\gamma) + \Gamma + \mu_k^2]^2}{4} - [\gamma\text{Ka}\Gamma + \mu_k^2(\text{Ka} + \Gamma)]}; \quad (11)$$

$$\mu'_{kn} = -\frac{1}{2\mu_k} \left[1 + \sum_{i=1}^l \frac{\gamma\text{Ka}_i^2}{(p_{kn} + \text{Ka} + \Gamma)^2} \right]; \quad (12)$$

Fo_g , Bi_g – диффузионные критерии Фурье и Био, равные

$$\text{Fo}_g = \frac{D\tau}{R_1^2}; \quad \text{Bi}_g = \frac{\beta R_1}{D}. \quad (13)$$

Используя выражения (1) – (13), определим параметры Ka и β_1 , которые наилучшим образом обеспечивают совпадение теоретической $\bar{a}_\tau$ и экспериментальной $\bar{a}_{\text{эк}}$ кривых, полагая вначале $\Gamma = 0$, и установим коэффициент внутренней диффузии D по формуле

$$D = \frac{\beta_1 R_1^2}{\text{Ka}}. \quad (14)$$

Далее по формуле (8) рассчитаем для каждого угля безразмерный параметр Γ и вновь определим значения относительной концентрации кислорода по выражению (5), но уже с учетом химической активности угля $\bar{a}_{\text{хим}}$.

В соответствии с изложенным алгоритмом экспериментальных и теоретических исследований проведены испытания следующих углей:

- ГУП ДНР «Макеевуголь» «Шахта имени С.М. Кирова», пласт h_{10}^B , марка Т;
- ГУП ДНР «Макеевуголь» «Шахта «Холодная Балка», пласт h_{10}^B , марка Т;
- ГУП ДНР «Шахтоуправление «Донбасс» «Шахта «Щегловская-Глубокая», пласт l_3 , марка К;
- ГУП ДНР «ДУЭК» «Шахта им. Челюскинцев», пласт l_1 , марка ДГ.

На основании полученных данных поглощения кислорода частицами угля до 3 мм рассчитана концентрация адсорбата в неподвижной фазе угля $\bar{a}_{\text{экс}}$ и установлена ее динамика за период адсорбции (рис. 2), показывающая хорошее совпадение теоретических и экспериментальных данных.

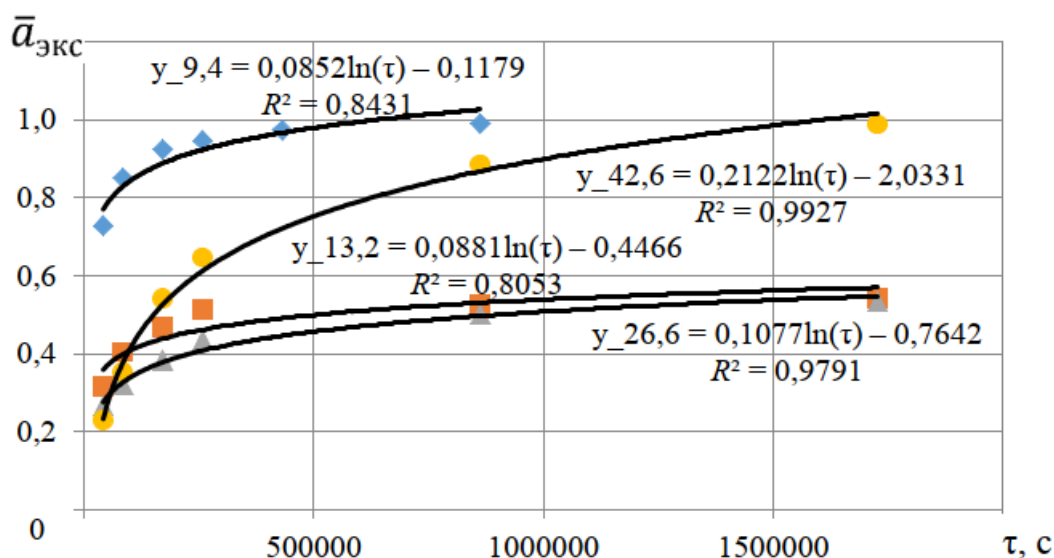


Рис. 2. Теоретические кривые и экспериментальные данные динамики относительной концентрации кислорода, поглощенного углем с различным выходом летучих веществ:
 ◆ – 9,4 %; ■ – 13,2 %; ▲ – 26,6 %; ● – 42,6 %

Используя решение математической задачи адсорбции газа твердой поверхностью (5), рассчитаны теоретические значения концентрации кислорода, принимающего участие в химической реакции окисления, $\bar{a}_{\text{хим}}$, и установлены параметры низкотемпературного окисления углей различной стадии метаморфизма (см. таблицу).

Анализ данных таблицы показывает, что если общее количество поглощенного кислорода углем различных марок имеет близкие значения, то для $a_{\text{хим}}$, моль/м³, отмечен значительный разброс, вызванный химической активностью. С точки зрения теории объемного заполнения микропор только

часть поглощенного кислорода соприкасается с твердой поверхностью, имеющей определенное количество активных центров, на которых протекает реакция окисления. Поэтому рассмотрено изменение реакционной поверхности угля, характеризуемое параметром ξ , и установлены зависимости, представленные на рис. 3.

Таблица
Результаты исследования низкотемпературного окисления углей Донбасса

Шахта, пласт	Марка угля	V^{daf} , %	Параметры низкотемпературного окисления								
			$k_{\text{кр}}$, м ³ /(с·моль)	$T_{\text{кр}}$, К	E , Дж/моль	γ	Ка	$S_{\text{уд}}/S_{\text{max}}$	Г	$a_{\text{эксп}}$, моль/м ³	$a_{\text{хим}}$, моль/м ³
Им. С. М. Ки- рова, h_{10}^B	Т	9,4	$1,006 \cdot 10^{-9}$	323,9	12 831,4	1,776	12,907	0,765	3,876	47,98	11,08
«Холодная Балка», h_{10}^B	Т	13,2	$1,430 \cdot 10^{-9}$	344,5	11 729,1	2,921	0,663	0,899	3,779	42,66	4,58
«Щегловская- Глубокая», l_3	К	26,6	$8,875 \cdot 10^{-10}$	333,0	14 114,6	1,699	4,868	0,927	17,39	42,07	2,27
Им. Челюс- кинцев, l_1	ДГ	42,6	$1,102 \cdot 10^{-9}$	329,7	29 447,0	1,323	9,219	0,052	0,030	35,75	25,46

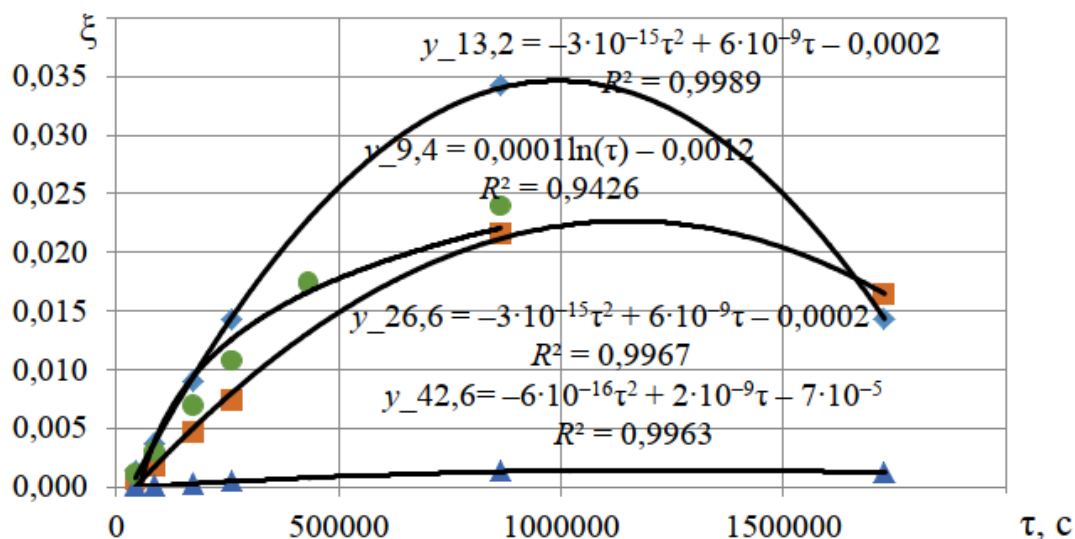


Рис. 3. Динамика реакционной поверхности угля в процессе его окисления V^{daf} :
● – 9,4 %; ◆ – 13,2 %; ■ – 26,6 %; ▲ – 42,6 %

Изменение коэффициента адсорбции кислорода исследуемыми углями описано зависимостью степенного вида и показывает значительное его уменьшение в первые трое суток эксперимента (рис. 4).

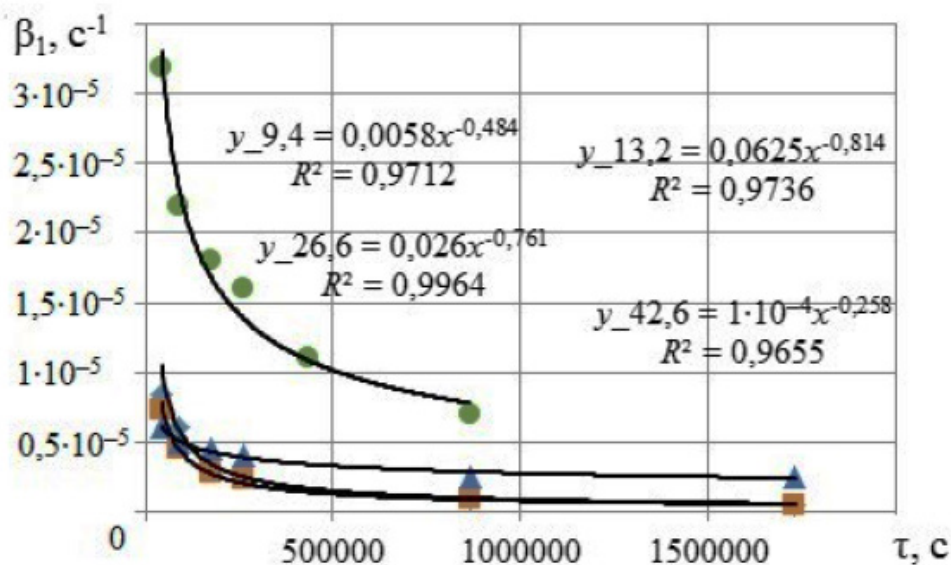


Рис. 4. Динамика коэффициента адсорбции кислорода углем с различным выходом летучих веществ:

● – 9,4 %; ◆ – 13,2 %; ■ – 26,6 %; ▲ – 42,6 %

Анализ представленных результатов показывает принципиальную возможность определения интенсивности химического реагирования кислорода для установления динамики температуры угольного скопления.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Впервые предложен метод разделения кинетики поглощенного и прореагировавшего с углем кислорода. Установлены и исследованы параметры низкотемпературного окисления угля, характеризующие адсорбционный процесс, что позволит оценить количество образующейся при этом теплоты.

Список литературы / References

1. Пашковский, П. С. Актуальные вопросы борьбы с самовозгоранием угля / П. С. Пашковский, С. П. Греков, И. Н. Зинченко. – Донецк : Арпи, 2012. – 656 с.

Pashkovskiy P. S., Grekov S. P., Zinchenko I. N. *Aktualnye voprosy borby s samovozgoraniem uglya* [Actual problems of fighting the spontaneous combustion of coal]. Donetsk, Arpi Publ., 2012, 656 p. (In Russian)

2. Пашковский, П. С. Эндогенные пожары в угольных шахтах / П. С. Пашковский. – Донецк : Ноулидж (Донецкое отделение), 2013. – 792 с.

Pashkovskiy P. S. *Endogennye pozhary v ugolnykh shakhtakh* [Spontaneous fires in coal mines]. Donetsk, Knowledge Publ. (Donetsk branch), 2013, 792 p. (In Russian)

3. Греков, С. П. Контроль за признаками самонагревания угля / С. П. Греков, П. С. Пашковский, В. П. Орликова // Уголь Украины. – 2015. – № 5. – С. 40 – 43.

Grekov S. P., Pashkovskiy P. S., Orlikova V. P. *Kontrol za priznakami samonagrevaniya uglya* [Monitoring of indications of coal spontaneous heating]. *Ugol Ukrainy*. 2015, no. 5, pp. 40-43. (In Russian)

4. Греков, С. П. Экспериментально-аналитическое определение коэффициентов диффузии в углях по темпу истечения метана / С. П. Греков, А. А. Всякий // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : научно-технический журнал. – Донецк, 2020. – № 1(57). – С. 25 – 32.

Grekov S. P., Vsyakiy A. A. *Eksperimentalno-analiticheskoye opredelenie koeffitsiyentov diffuzii v uglyakh po tempu istecheniya metana* [Experimental and analytical determination of diffusion coefficients in coal according to methane release rate]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauchno-tekhnicheskiy zhurnal*. Donetsk, 2020, no. 1(57), pp. 25-32. (In Russian)

5. Греков, С. П. Реакционная активность углей / С. П. Греков, В. П. Орликова // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : сборник научных трудов. – Донецк, 2015. – Вып. 52. – С. 78 – 90.

Grekov S. P., Orlikova V. P. *Reaktsionnaya aktivnost ugley* [Coal reaction activity]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": sbornik nauchnykh trudov*. Donetsk, 2015, issue 52, pp. 7-12. (In Russian)

6. Орликова, В. П. Кинетика хемосорбции кислорода углями при переменном коэффициенте диффузии адсорбтива как функции его проницаемости / В. П. Орликова // Вестник Академии гражданской защиты : научный журнал. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2021. – Вып. 4(27). – С. 7 – 12.

Orlikova V. P. *Kinetika khemosorbtsii kisloroda uglyami pri peremennom koeffitsiyente diffuzii adsorptiva kak funktsii yego pronitsayemosti* [Kinetics of chemisorption of oxygen by coal with variable diffusion coefficient of adsorptive as a function of its permeability]. *Vestnik Akademii grazhdanskoy zashchity: nauchnyy zhurnal*. Donetsk, GOUVPO "Akademiya grazhdanskoy zashchity" MChS DNR, 2021, issue 4(27), pp. 7-12. (In Russian)

7. Пашковский, П. С. Развитие процесса низкотемпературного окисления углей / П. С. Пашковский, С. П. Греков, В. П. Орликова // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : сборник научных трудов. – Донецк, 2015. – Вып. 52. – С. 153 – 167.

Pashkovskiy P. S., Grekov S. P., Orlikova V. P. *Razvitiye protsessa nizkotemperaturnogo okisleniya ugley* [Development of process of coal low-temperature oxidation]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": sbornik nauchnykh trudov*. Donetsk, 2015, issue 52, pp. 153-167. (In Russian)

*Svyatoslav Pavlovich Grekov, Dr. Sci. (Tech.), senior scientific researcher; e-mail: obep.niigd@list.ru;
Viktoria Petrovna Orlikova, Cand. Sci. (Tech.), senior scientific associate; e-mail: orlikova.69@yandex.ua
State Budgetary Establishment "The Scientific Research Institute "Respirator"
of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence,
Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters"
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-79-07*

PARAMETERS OF LOW-TEMPERATURE OXIDATION OF COAL WITH DIFFERENT GRADES OF METAMORPHISM

Purpose. Determination of kinetic parameters of oxygen chemisorption on the basis of experimental investigation of low-temperature oxidation of coal with different grades of metamorphism and mathematical modeling of the process for the further estimation of probability of spontaneous combustion of a fire hazardous accumulation.

Methods. Experimental investigations of oxygen sorption process, mathematical modeling of heterogeneous adsorption factoring in the proceeding of the chemical reaction, and phenomenological method of determining the parameters of this process.

Results. Based on the experimental isotherms of the oxygen adsorption a principle possibility to determine the intensity of the chemical reaction between the oxidizing agent and the solid coal surface has been demonstrated. The parameters of the low-temperature oxidation of coal with different grades of metamorphism have been established and investigated, the ones that characterize the adsorption process and factor in the physical and chemical properties of the solid fuel.

Scientific novelty. The novel method of partitioning the kinetics of the adsorbed oxygen and the one that has reacted with coal has been proposed, and the numerical values of the oxygen chemisorption parameters in the course of their low-temperature oxidation have been derived.

Practical value. The established dependences of the oxygen chemisorption kinetics will permit to estimate the heat emission quantity in the coal accumulation layer and the possibility of its spontaneous combustion.

Keywords: *low-temperature oxidation; adsorption; reaction surface; kinetics; modeling.*

УДК 614.841.332:620.197.6

*Анатолий Филиппович Долженков, д-р техн. наук, заместитель директора (по научной работе);
e-mail: dolzhenkov_52@mail.ru;*

Виктория Валентиновна Лебедева, ст. науч. сотр.; e-mail: lebedenish@mail.ru

Государственное бюджетное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС ДНР»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: (+38 062) 332-78-55

УСТОЙЧИВОСТЬ ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Цель. Обосновать параметры устойчивости огнезащитного покрытия на основе хлоропренового каучука к воздействию природных и техногенных факторов.

Методы. Испытания покрытия по определению влаго- и водостойкости, устойчивости к старению, коэффициента вспучивания, огнезащитной эффективности проведены стандартными методами, а теплоизоляционных свойств вспененного кокса покрытия – лабораторным методом.

Результаты. Исследована устойчивость огнезащитного покрытия к воздействию природных факторов по трем параметрам: влаго-, водопоглощение, циклическое воздействие температуры и влажности. Показано, что кинетика изменения влагопоглощения покрытия при относительной влажности воздуха, близкой к 100 %, в течение 30 сут имеет ограниченный характер.

Научная новизна. Впервые получены зависимости, характеризующие кинетику изменения влагопоглощения покрытия на основе хлоропренового каучука после воздействия воды, влажности и теплосмен (циклического воздействия температуры и влажности).

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют оценить устойчивость покрытия к воздействию воды, влажности, циклическому воздействию температуры и влажности и последующее сохранение огнезащитных свойств материала после их воздействия.

Ключевые слова: *вспучивающееся покрытие; группа огнезащитной эффективности; хлоропреновый каучук; эксплуатационный фактор; кинетика изменения влагопоглощения покрытия.*

Постановка проблемы. Анализ рисков пожаров в зданиях и сооружениях с массовым пребыванием людей позволяет сделать вывод о том, что люди гибнут в основном от воздействия токсичных продуктов горения и травм, связанных с обрушением строительных конструкций [1]. Потеря устойчивости строительных конструкций также приводит к уничтожению имущества, инженерного и технологического оборудования, что значительно увеличивает материальный ущерб. Современные технологические решения и подходы к строительству зданий различной этажности и функционального назначения предусматривают применение узлов и элементов из древесины, а также стальных каркасов [2]. Вместе с тем деревянные и металлические конструкции в необработанном виде характеризуются наименьшими показателями огнестойкости [3].

Один из путей решения проблемы – использование огнезащитных покрытий вспучивающегося типа, механизм действия которых заключается в образовании пористого углеродного каркаса – пенококса. Продукты термической деструкции связующего материала фильтруются через пористый слой и препятствуют поступлению тепла к защищаемой поверхности.

Кратность вспучивания, а следовательно, качество образующегося пенококсового остатка во многом зависят от физико-химических свойств пленкообразующего вещества, а также компонентов покрытия, которые способствуют возникновению и увеличению парогазовых областей, возрастанию объема твердых включений при высоких температурах. При этом основной проблемой остается создание термодинамически устойчивого водонерастворимого слоя, совместимого со вспучивающими добавками и пленкообразующим веществом покрытия.

Анализ последних исследований и публикаций. Наибольший интерес в области создания современных огнезащитных материалов представляют композиции с термореактивными матрицами [4], среди которых выделяются эпоксидные композиционные материалы [5]. Однако покрытия на основе эпоксидных олигомеров обладают комплексом существенных недостатков, таких как горючесть, хрупкость, низкие прочностные характеристики [6]. Альтернативой эпоксидным олигомерам в качестве связующего вещества в огнезащитных композициях можно считать хлоропреновый каучук, химическое строение которого (наличие атома хлора при двойной связи, регулярность строения молекулы) обуславливает высокую огнестойкость, эластичность и способность кристаллизоваться в естественных условиях с образованием когезионной поверхностной пленки [7].

Цель исследования – обосновать параметры устойчивости огнезащитного покрытия на основе хлоропренового каучука к воздействию природных и техногенных факторов.

Результаты исследований. Экспериментальные исследования включали четыре основных этапа (рис. 1).

Для получения огнезащитного покрытия готовили композицию смешиванием двух компонентов, которую наносили на стальные пластины и деревянные бруски в два слоя. После полного испарения растворителя и формирования отвержденного покрытия определяли его влагостойкость по трем параметрам: влагопоглощению, водопоглощению, а также циклическому воздействию температуры и влажности. Экспериментальные значения влагопоглощения H покрытия на древесине и стальной пластине при температуре окружающего воздуха (23 ± 2) °C и относительной влажности, близкой к 100 %, наиболее точно (коэффициент корреляции $r = 0,98 \dots 0,99$) аппроксимированы полиномиальными зависимостями третьего и второго порядка.

На кинетической кривой (рис. 2а) можно выделить три участка. Наиболее интенсивное поглощение влаги (0...8 %) покрытием на деревянных брусках происходило в течение первых десяти суток (участок 1), затем влагопоглощение постепенно замедлялось (участок 2) и за период 20...30 сут обеспечивалось сохранение массы покрытия (участок 3). Кинетические кривые поглощения влаги покрытием на древесине и стальной пластине близки между собой:

S-образная форма, присутствие максимума в одинаковый период времени (рис. 2).



Рис. 1. Алгоритм экспериментального исследования

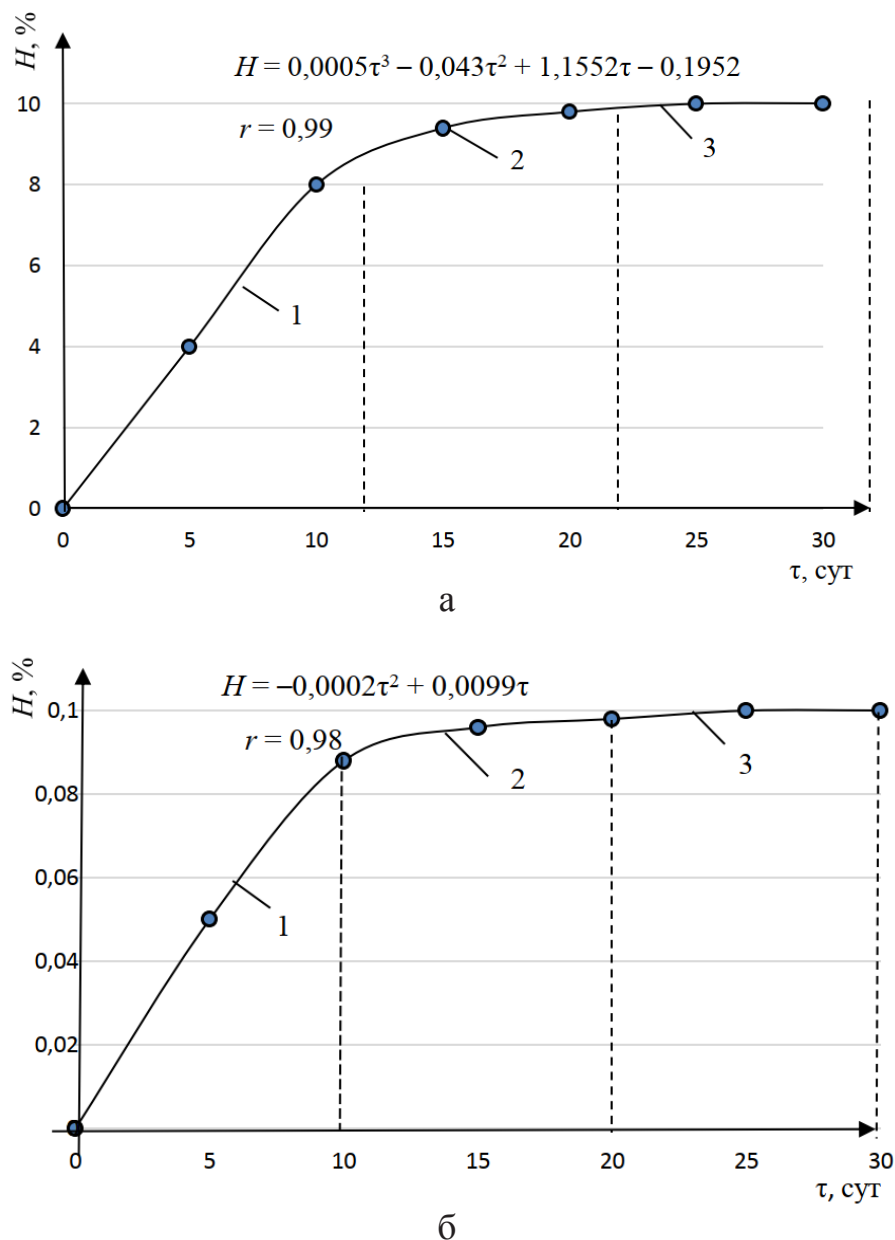


Рис. 2. Кинетические кривые поглощения влаги покрытием:
а – на древесине; б – на стальных пластинах

После погружения образцов в воду (время экспозиции 3 сут) следов набухания, вымывания, разрушения не наблюдалось, что свидетельствует о достаточно высокой прочности и стойкости покрытия, удельное водопоглощение составило $2,7 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$. Результаты испытания образцов в условиях ускоренного старения (14 сут) также показали устойчивость покрытия к переменному влиянию температуры и влажности.

Один из важнейших параметров при решении вопроса об использовании огнезащитных покрытий – их эффективность. Исследованы огнезащитные свойства образцов с покрытием на древесине без воздействия и после воздействия эксплуатационных факторов.

Критерием оценки огнезащитной эффективности образцов служила относительная потеря массы Δm , %,

$$\Delta m = \frac{m_0 - m}{m_0} 100,$$

где m_0 – масса образца в исходном состоянии, г;

m – масса образца после огневого испытания, г.

Наибольшее значение Δm (42 %) получено для незащищенной древесины (рис. 3). В процессе огневых испытаний образцов, обработанных огнезащитным средством, установлено, что пламенное горение ими не поддерживается, покрытие древесины начинает вспучиваться и образуется кокс. Под снятым слоем кокса структура древесины сохраняется, Δm находится в диапазоне значений 1,8...3 %, что соответствует I группе огнезащитной эффективности для древесины.

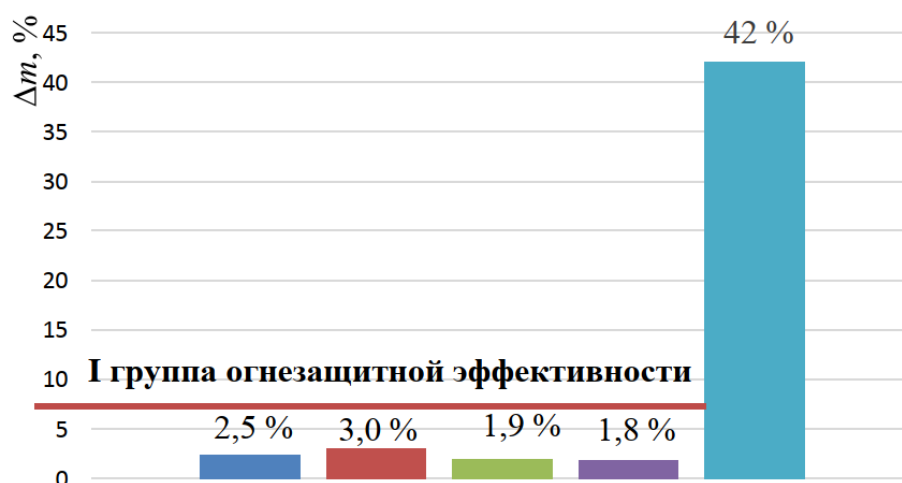


Рис. 3. Относительная потеря массы образцов после огневых испытаний:

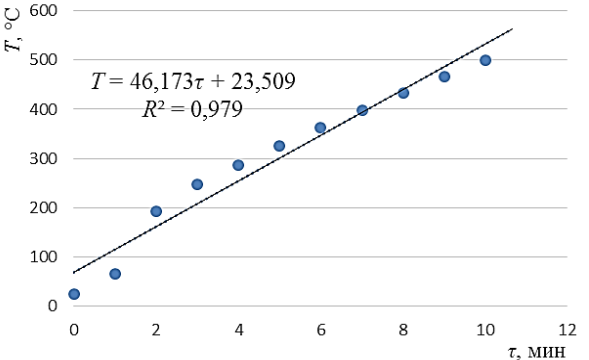
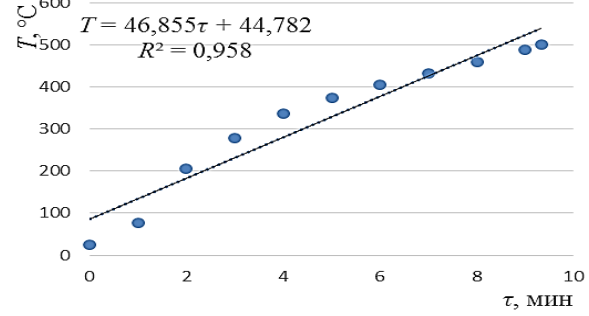
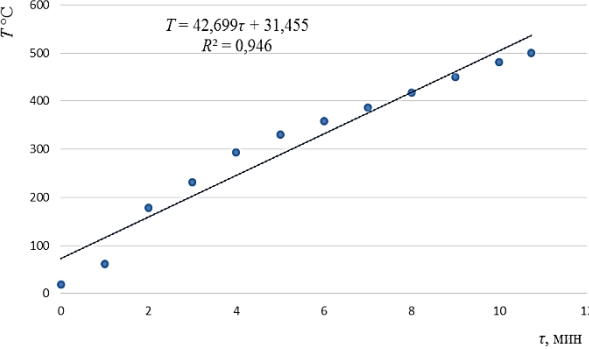
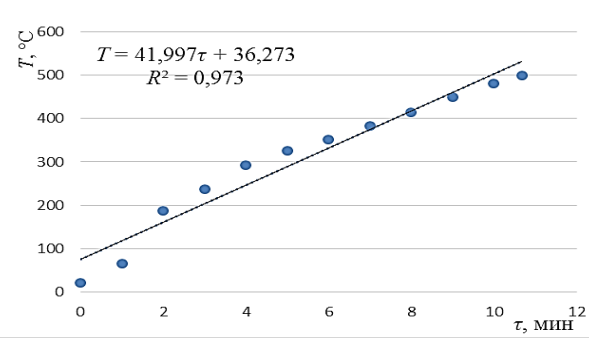
■ – после воздействия воды; ■ – после воздействия влажности;
■ – после воздействия теплосмен; ■ – без воздействия; ■ – без нанесения покрытия

Оценку теплоизоляционных свойств вспененного кокса и огнестойкости покрытия выполняли на лабораторной установке, предназначенной для испытаний огнезащитных покрытий в условиях, приближенных к условиям реальных пожаров [9]. Критерием оценки огнестойкости покрытия считают время достижения предельно допустимого значения температуры (500 °C) необогреваемой поверхностью стальной пластины толщиной 1 мм при толщине слоя покрытия 0,5 мм.

Результаты экспериментов аппроксимированы линейными зависимостями с коэффициентом корреляции $r = 0,97 \dots 0,99$ (таблица).

Таблица

Характеристика огнезащитного покрытия

Влияющий фактор	Поглощение влаги образцом	Время достижения образцом предельной температуры (500 °C), мин	Зависимость, характеризующая изменение температуры пластины со временем испытания
Вода (3 сут)	2,7 г·м ⁻² ·ч ⁻¹	10,7	 $T = 46,173\tau + 23,509$ $R^2 = 0,979$
Влажность (30 сут)	0,1 %	9,3	 $T = 46,855\tau + 44,782$ $R^2 = 0,958$
Температура и влажность (14 сут)	0,1 %	10,7	 $T = 42,699\tau + 31,455$ $R^2 = 0,946$
Без воздействия	—	10,7	 $T = 41,997\tau + 36,273$ $R^2 = 0,973$
Без покрытия	—	5,0	

Кинетика повышения температуры покрытия, не подвергнутого воздействию (контрольный образец) и после воздействия воды, влажности, теплосмен, практически совпадает, что свидетельствует о сохранении теплоизоляционных свойств вспененного кокса после воздействия эксплуатационных факторов.

Выводы относительно устойчивости покрытия к влиянию влаги и последующего сохранения огнезащитных свойств также подтверждаются идентичным характером вспучивания при выдержке образцов в изотермическом режиме нагрева при 600 °С в течение 5 мин (рис. 4).

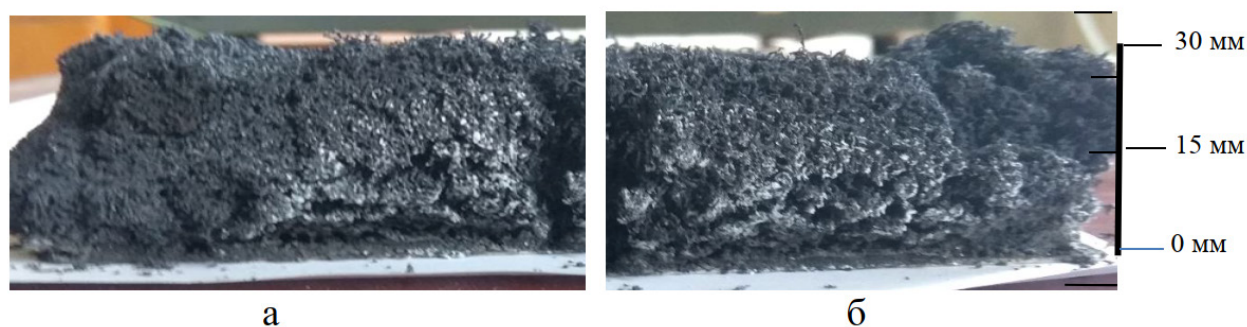


Рис. 4. Вспучивание огнезащитного покрытия на стальной пластине (вид сбоку): а) без воздействия влажности; б) после воздействия влажности

Выводы. На основании результатов экспериментальных исследований установлено, что вода, влажность, циклическое воздействие температуры и влажности не оказывают влияния на параметры огнестойкости покрытия на основе хлоропренового каучука – I группа огнезащитной эффективности для древесины и теплоизоляционные свойства вспененного кокса не изменились. Таким образом, покрытие на основе хлоропренового каучука для огнезащиты деревянных и металлических строительных конструкций можно считать влаго- и водостойким.

Список литературы / References

1. Тимофеева, С. С. Анализ, оценка, прогноз гибели и травмирования людей при пожарах в Российской Федерации / С. С. Тимофеева, Е. А. Хамидуллина, В. В. Гармышев // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России : научно-аналитический журнал. – 2018. – Вып. 2. – С. 1 – 8.

Timofeyeva S. S., Khamidullina Ye. A., Garmyshev V. V. *Analiz, otsenka, prognoz gibeli i travmirovaniya lyudey pri pozharakh v Rossiyskoy Federatsii* [Analysis, assessment, prediction of death and injury rate of people in fires in the Russian Federation]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii: nauchno-analiticheskiy zhurnal*, 2018, issue 2, pp. 1-8. (In Russian)

2. Туснина, В. М. Проектирование гражданских зданий массового строительства на основе типового стального каркаса / В. М. Туснина, Е. А. Галенко // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 10. – С. 17 – 23.

Tusnina V. M., Galenko Ye. A. *Proyektirovanie grazhdanskikh zdaniy massovogo stroitelstva na osnove tipovogo stalnogo karkasa* [Design of civilian buildings of mass construction based on standard structural steel frame]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo*, 2021, no. 10, pp. 17-23. (In Russian)

3. Бардин, А. В. Огнестойкость металлоконструкций на примере метода численного моделирования / А. В. Бардин, О. Ю. Сударь // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 8(35). – С. 36 – 47.

Bardin A. V., Sudar O. Yu. *Ognestoykost metallokonstruktsiy na primere metoda chislennogo modelirovaniya* [Fire-resistance of metal construction exemplified by the numerical modeling method]. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*, 2015, no. 8(35), pp. 36-47. (In Russian)

4. Терморасширяющиеся полимерные композиционные материалы / Р. В. Кропачев, В. В. Новокшенов, С. И. Вольфсон, С. Н. Михайлова // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 5. – С. 60 – 63.

Kropachyov R. V., Novokshonov V. V., Volfson S. I., Mikhaylova S. N. *Termorasshiryayushchiesya polimernye kompozitsionnye materialy* [Thermointumescent polymeric composite materials]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, vol. 18, no. 5, pp. 60-63. (In Russian)

5. Оценка влияния вида отвердителя на атмосферостойкость низковязких эпоксидных композитов / Т. А. Низина, А. Н. Чернов, Д. Р. Низин, А. И. Попова // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2016. – № 6. – С. 1 – 13.

Nizina T. A., Chernov A. N., Nizin D. R., Popova A. I. *Otsenka vliyaniya vida otverditelya na atmosferostoykost nizkovyazkikh epoksidnykh kompozitov* [Estimation of hardening agent impact on outdoor resistance of low-viscosity epoxy composites]. *Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika*, 2016, no. 6, pp. 1-13. (In Russian)

6. Исследование эксплуатационных характеристик огнезащитных покрытий на основе эпоксидных смол, модифицированных астраленами / А. В. Иванов, С. О. Столяров, Ф. А. Дементьев, А. П. Ферулев // Пожаровзрывобезопасность. – 2020. – Т. 29, № 1. – С. 55 – 68.

Ivanov A. V., Stolyarov S. O., Dementyev F. A., Ferulev A. P. *Issledovaniye ekspluatatsionnykh kharakteristik ognezashchitnykh pokrytiy na osnove epoksidnykh smol, modifitsirovannykh astralenami* [Investigation of operational characteristics of epoxy rubber-based fire-retardant coatings modified by astralenes]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2020, vol. 29, no. 1, pp. 55-68. (In Russian)

7. Справочник резинщика. Материалы резинового производства / ред. колл.: П. А. Захарченко [и др.]. – М. : Химия, 1971. – 607 с.

Zakharchenko P. A. [et al.]. *Spravochnik rezinshchika. Materialy rezinovogo proizvodstva* [Rubber-industry worker reference book. Materials of rubber industry]. Moscow, Khimiya Publ., 1971, 607 p. (In Russian).

8. Способы и средства огнезащиты древесины : руководство. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ВНИИПО, 1999. – 50 с.

Sposoby i sredstva ognezashchity drevesiny: rukovodstvo. 3-e izd., pererab. i dop.

[Methods and means of fire protection of wood. The 3rd revised and supplemented edition]. Moscow, VNIPO Publ., 1999, 50 p. (In Russian)

9. Лебедева, В. В. Лабораторная установка для исследования свойств огнезащитного покрытия / В. В. Лебедева, И. Н. Непочатых, О. В. Храпоненко // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : научно-технический журнал. – Донецк, 2021. – № 2(58). – С. 100 – 108.

Lebedev V. V., Nepochatykh I. N., Khraponenko O. V. *Laboratornaya ustanovka dlya issledovaniya svoistv ogneshchitnogo pokrytiya* [Laboratory-scale installation for investigation of fire-retardant coating characteristics]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nauchno-tekhnicheskiy zhurnal*. Donetsk, 2021, no. 2(58), pp. 100-108. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 03.06.2022

*Anatoly Filippovich Dolzhenkov, Dr. Sci. (Tech.), deputy director (on science);
e-mail: dolzhenkov_52@mail.ru;*

*Viktoria Valentinovna Lebedeva, senior scientific associate; e-mail: lebedenish@mail.ru
State Budgetary Establishment "The Scientific Research Institute "Respirator"
of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence,
Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters"
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-55*

RESISTANCE OF FIRE-RETARDANT COATING TO IMPACT OF NATURAL AND MAN-MADE FACTORS

Purpose. Substantiation of resistance parameters of the chloroprene rubber-based fire-retardant coating to the impact of natural and man-made factors.

Methods. The tests to determine the moisture- and water-resistance, aging-resistance, intumescence coefficient, fire-retardant efficiency of the coating have been conducted according to the conventional methods, the heat-insulating properties of the coating foamed coke have been tested according to the lab-scale method.

Results. The resistance of the fire-retardant coating to the impact of the natural factors has been investigated according to three parameters, i.e. moisture and water absorption, temperature and humidity cycling. It has been demonstrated that the kinetics of variation in moisture absorption of the coating in the relative air humidity close to 100 per cent over a period of 30 days is of limited nature.

Scientific novelty. The novel dependences characterizing the kinetics of moisture absorption variation of the chloroprene rubber-based coating after being impacted by water, humidity and thermal cycling (temperature and humidity cycling) have been derived.

Practical value. The obtained results permit to estimate the coating resistance to the impact of water, moisture, temperature and humidity cycling and further preservation of the fire-retardant properties of the material after being affected.

Keywords: *intumescent coating; fire-retardant effectiveness group; chloroprene rubber; operational factor; kinetics of variation in coating moisture adsorption.*

УДК [622.411.33:622.817.47]:001.891.573

Александр Викторович Мавроди, науч. сотр.; e-mail: mavrodi-av@mail.ru

Государственное бюджетное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС ДНР»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: (+38 062) 332-78-34

ПРОГНОЗ ГАЗОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА ВЫЕМОЧНОМ УЧАСТКЕ ПРИ ОБЕСТОЧИВАНИИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Цель. Выполнить математический анализ динамики концентрации метана в выемочном участке шахты при нарушении работы системы дегазации и проветривания.

Методы. Математическое моделирование переходных газодинамических процессов в выемочном участке шахты.

Результаты. Спрогнозирована газовая обстановка в выемочном участке ВУЛ № 3 пласта m_3 ГУП ДНР «Шахта им. А. Ф. Засядько» при возникновении техногенной аварии.

Научная новизна. В условиях исследуемой шахты установлено время переходного газодинамического процесса в выработанном пространстве выемочного участка при отключении дегазации и изменении нормального режима проветривания на естественную тягу.

Практическая значимость. Полученные результаты позволят спрогнозировать газовую обстановку в выемочных участках при возникновении аварийной ситуации, определить длительность переходного газодинамического процесса и оперативно принять необходимые меры по спасению рабочих из опасных зон.

Ключевые слова: авария; выемочный участок; выработанное пространство; лава; метан; дегазация; прогноз; переходный газодинамический процесс; математическая модель.

Постановка проблемы. Добыча угля подземным способом на шахтах Донбасса связана с большим риском возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера. В 2021 году зафиксировано 24 случая аварийной остановки вентилятора главного проветривания (далее – ВГП) и два случая полного отключения электроэнергии на шахтах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа.

Полное обесточивание горного предприятия влечет за собой изменение параметров работы основных средств борьбы с метаном – проветривания и дегазации. Вследствие этого в выработанном пространстве выемочного участка начинают протекать сложные переходные газодинамические процессы, представляющие собой труднопрогнозируемую систему. Метановоздушная смесь, доля которой в газовом балансе выемочного участка составляет 60...90 %, поступает из выработанного пространства в прилегающие выработки, создавая тем самым опасную газовую обстановку на участке. Сам процесс газовыделения очень длительный и происходит по всей длине выработанного пространства на протяжении 60...120 м позади лавы [1].

Из-за сложности проведения натурных экспериментальных исследований в шахте, с целью получения фактических данных переходных газодинамических

процессов в выемочном участке, возникает необходимость в разработке эффективной методики прогнозирования газовой обстановки, которая будет способствовать принятию оперативных мер по спасению людей, сокращению времени на ликвидацию последствий аварии и минимизации социальных последствий во время ведения аварийно-спасательных работ горноспасательными подразделениями, что актуально в настоящее время.

Анализ последних исследований. Метановыделение из выработанного пространства в горные выработки представляет собой чрезвычайно сложный процесс движения метана в потоке утечек воздуха через горный массив. Основные факторы, влияющие на интенсивность поступления метана в выработанное пространство, такие как неравномерно разгруженные сближенные пласты (спутники) в кровле разрабатываемого пласта, оставляемые целики угля, газоносность вмещающих пород, шаг посадки непосредственной и основной кровли [1].

Анализ исследований [2 – 6] указывает на многочисленные попытки решения проблемы прогнозирования газовой обстановки выемочных участков с использованием таких методов, как автоматическое оперативное прогнозирование, разложение ряда метановыделения на составляющие, использование нейросетей, численное моделирование. Все это позволяет прогнозировать процесс метановыделения в горные выработки с недостаточной для практики точностью, так как не учитываются основные источники, от которых зависит интенсивность метановыделения (шаг посадки основной кровли, расстояние до сближенного пласта (спутника), диффузия метана и др.).

В настоящее время данный вопрос возможно решить только современными научными методами, один из которых – математическое моделирование переходных газодинамических процессов.

Цель исследований. Выполнить математический анализ динамики роста объемной доли метановоздушной смеси в выемочном участке шахты ВУЛ № 3 пласта m_3 ГУП ДНР «Шахта им. А.Ф. Засядько» при возникновении техногенной аварии.

Результаты исследований. Основная доля аварийных ситуаций в угольных шахтах связана с загазированием горных выработок и возникновением опасности взрыва образовавшейся в них метановоздушной смеси. Загазирование горных выработок относится к аварийным ситуациям, которые, как правило, ликвидируются силами шахты. Обязательный вызов работников горноспасательной службы осуществляется в случае остановки вентилятора главного проветривания продолжительностью более 30 мин с целью безопасного вывода работников на поверхность, а также разработки специальных мероприятий по разгазированию выработок шахты.

За период 2014 – 2021 гг. выполнен анализ загазирования горных предприятий, подконтрольных Гортехнадзору ДНР (рис. 1).

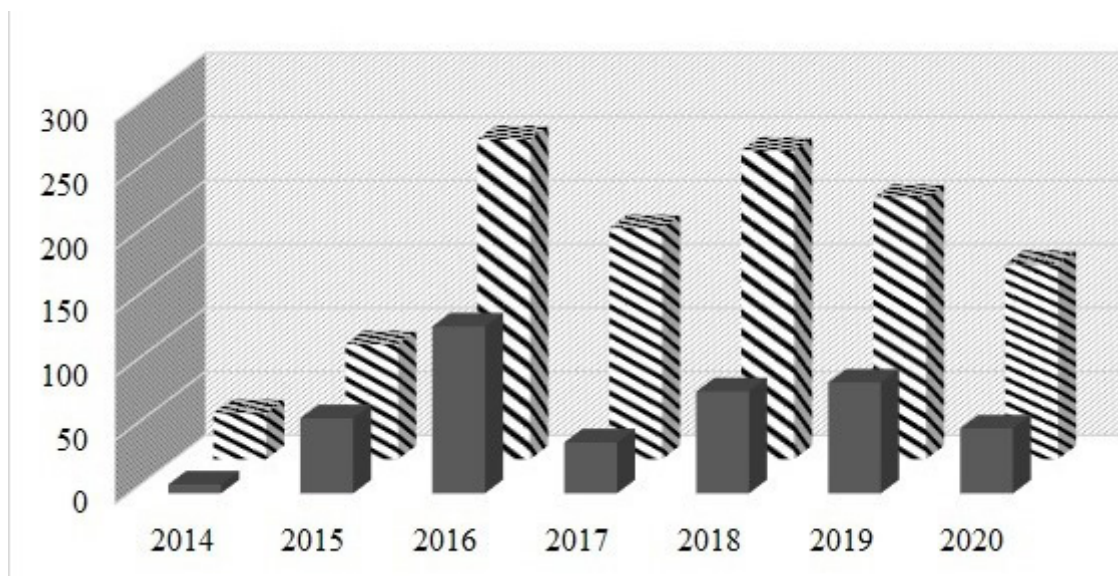


Рис. 1. Сведения о случаях загазования шахт Донецкой Народной Республики за период 2014 – 2021 гг.:
 ■ – аварийные; ▨ – технологические

Особенно остро стоит вопрос загазования шахт, где применяют системы дегазации, так как при обесточивании горного предприятия нарушается процесс дегазации и проветривания.

В связи с этим основные переходные газодинамические процессы происходят именно в выработанном пространстве, которое само по себе как фильтрующая среда не является стабильным и представляет собой сложную структуру, основные характеристики которой постоянно меняются во времени и пространстве по мере подвигания очистного забоя и обрушения пород кровли. Следует также отметить, что распределение метановоздушной смеси в выработанном пространстве возрастает в направлении вентиляционного штрека и в направлении, нормальном к плоскости пласта (по высоте выработанного пространства).

Из-за сложности точного описания исследуемых процессов предложена математическая модель [7] переходных газодинамических процессов в выработанном пространстве выемочного участка при изменении параметров работы системы дегазации и проветривания с условно принятыми граничными условиями и параметрами выемочного участка.

Начальное распределение концентрации метана в активно проветриваемой зоне выработанного пространства C_v представлено в виде

$$C_v(z, 0) = C_{v0} + \frac{q_{сп0}}{Q_{в0}} \frac{z}{l_{сп}},$$

где z – координата, отсчитываемая от откаточного штрека по направлению движения вентиляционной струи воздуха, $z = l_{л}$;

- $l_{\text{л}}$ – длина лавы, м;
 $C_{\text{в}0}$ – объемная доля метана в активно проветриваемой зоне выработанного пространства при нормальном режиме работы выемочного участка, %;
 $q_{\text{сп}0}$ – дебит метана из сближенных пластов (спутников) при нормальных условиях работы выемочного участка, м³/с;
 $Q_{\text{в}0}$ – расход воздуха в утечках через активно проветриваемую зону выработанного пространства, м³/с;
 $l_{\text{сп}}$ – расстояние по нормали от кровли разрабатываемого пласта до почвы сближенного пласта (спутника), м.

Распределение объемной доли метана в активно проветриваемой зоне выработанного пространства $C_{\text{в}}(l_{\text{л}}, t)$ в зависимости от времени обесточивания шахты представим в виде

$$C_{\text{в}}(l_{\text{л}}, t) = \zeta_{\text{в}}[C_{\text{в.л}}(l_{\text{л}}, \infty) - C_{\text{в}0}(l_{\text{л}}, 0)] + C_{\text{в.л}}(l_{\text{л}}, 0), \quad (1)$$

- где $\zeta_{\text{в}}$ – безразмерный параметр, являющийся функцией продолжительности изменения режима работы дегазации и проветривания шахты;
 $C_{\text{в.л}}(l_{\text{л}}, \infty)$ – объемная доля метана на выходе из лавы при обесточивании выемочного участка, %;
 $C_{\text{в}0}(l_{\text{л}}, 0)$ – объемная доля метана на выходе из лавы при нормальной работе выемочного участка, %.

Объемную долю метана на выходе из лавы при обесточивании выемочного участка $C_{\text{в.л}}(l_{\text{л}}, \infty)$ определим по формуле

$$C_{\text{в.л}}(l_{\text{л}}, \infty) = C_{\text{в.л}}(l_{\text{л}}, 0) \frac{Q_{\text{л}0}}{Q_{\text{л}1}}, \quad (2)$$

- где $Q_{\text{л}0}$ – расход воздуха в лаве до обесточивания шахты, м³/с;
 $Q_{\text{л}1}$ – расход воздуха в лаве после обесточивания шахты, м³/с.

Параметр ζ определяем следующим образом:

$$\zeta_{\text{в}} = 1 - \frac{1}{2} \left[\exp(\delta_{\text{в}})(\tau_{\text{в}} + 1) \operatorname{erfc} \left(\frac{\tau_{\text{в}} + 1}{2\sqrt{\tau_{\text{в}} / \delta_{\text{в}}}} \right) - (\tau_{\text{в}} - 1) \operatorname{erfc} \left(\frac{\tau_{\text{в}} - 1}{2\sqrt{\tau_{\text{в}} / \delta_{\text{в}}}} \right) \right] - \frac{K_q - 1}{K_q - K_{Q_{\text{в}}}} \cdot \frac{\tau_{\text{в}}}{2} \times$$

$$\times \int_0^1 \operatorname{erf} \left(\frac{\lambda}{2\sqrt{\tau_{\text{в}} \bar{x} / \delta_{\text{в}}}} \right) \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{\tau_{\text{в}}(1 - \bar{x}) - 1}{2\sqrt{\tau_{\text{в}}(1 - \bar{x}) / \delta_{\text{в}}}} \right) - \exp(\delta_{\text{в}}) \operatorname{erfc} \left(\frac{\tau_{\text{в}}(1 - \bar{x}) + 1}{2\sqrt{\tau_{\text{в}}(1 - \bar{x}) / \delta_{\text{в}}}} \right) \right] d\bar{x},$$

- где $\delta_{\text{в}}, \tau_{\text{в}}$ – критерии гомохронности, характеризующие отношение между конвективным и молекулярным процессами массопереноса в потоке газа;

K_q – глубина регулирования дебита метана из сближенных пластов (спутников) при дегазации, м;

- $K_{Qв}$ – глубина регулирования расхода воздуха в активно проветриваемой зоне выработанного пространства, м;
- λ – параметр, характеризующий расстояние по нормали до сближенного пласта (спутника), метановыделение из которого будет максимальным (при $l_{сп} = 0...50$ м, λ принимаем $0...1,0$ соответственно);
- $\bar{x}$ – время протекания переходного газодинамического процесса, $\bar{x} = x / t$;
- t – время, прошедшее с момента обесточивания шахты, с.

С целью оптимизации проводимых исследований и удобства расчета для выполнения анализа переходных газодинамических процессов разработана программа на ПЭВМ, которая позволяет оперативно выполнить прогнозирование газовой обстановки в выемочном участке при изменении параметров дегазации и проветривания.

Для выполнения анализа приняты фактические данные по выемочному участку ВУЛ № 3 пласта m_3 ГУП ДНР «Шахта им. А.Ф. Засядько» вследствие общего обесточивания шахты 31 января 2017 г. На тот момент под землей находилось более 200 горняков, а общее время отключения электроэнергии составило 26 часов.

Фактические данные по газовой обстановке на выемочном участке предоставлены только в период вывода людей на поверхность (в течение 4 часов) работниками горноспасательной службы. Таким образом, сравнение фактических и расчетных данных позволит выполнить прогнозирование газовой обстановки в выемочном участке при изменении параметров дегазации и проветривания.

Для выполнения исследований по выемочному участку ВУЛ № 3 пласта m_3 приняты следующие исходные данные: $C_{в0} = 0,9\%$; $q_{сп0} = 1,28 \text{ м}^3/\text{с}$; $q_{сп1} = 0,65 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{в0} = 2,6 \text{ м}^3/\text{с}$; $l_{сп} = 43 \text{ м}$; $\lambda = 0,86$; $\delta_{в} = 2$; $l_{л} = 260 \text{ м}$.

Пласт m_3 имеет мощность 1,6 м, угол падения 13° . Природная газоносность пласта составляет $8...26 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м}$. Схема проветривания лавы – возвратноточная с независимым восходящим движением воздуха и отводом исходящей струи на углепородный массив. Расход воздуха, поступающий на участок, составлял $23,67 \text{ м}^3/\text{с}$. В лаве применялась комплексная дегазация сближенных пластов (спутников) и выработанного пространства (газоотсос).

Подставив исходные данные в формулу (2), выполнили моделирование переходного газодинамического процесса и построили зависимость динамики относительной концентрации метана в выемочном участке от критериев гомохронности $\tau_{в}$ и λ (рис. 2).

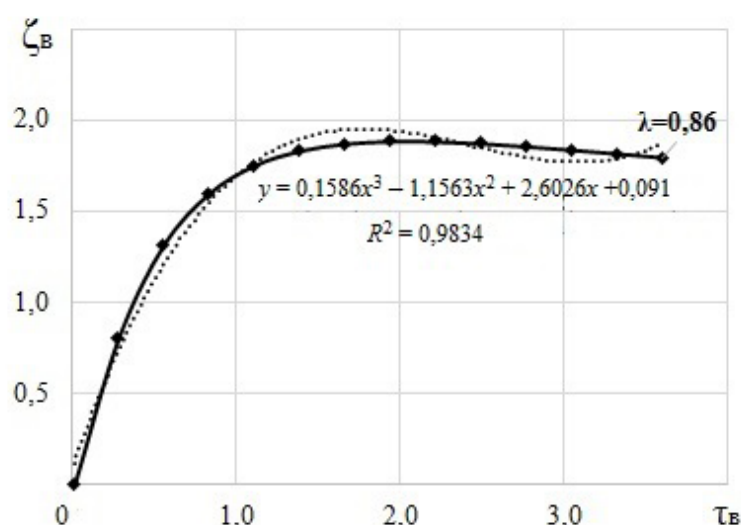


Рис. 2. Зависимость динамики относительной концентрации метана в выработанном пространстве при изменении режима работы дегазации и проветривания

Используя формулу (1) и задавая значения времени 0...26 ч, выполним прогнозирование изменения объемной доли метана в выемочном участке (таблица).

Таблица

Параметры расчета переходного газодинамического процесса в выработанном пространстве выемочного участка ВУЛ № 3 пласта m_3 ГУП ДНР «Шахта им. А.Ф. Засядько» при обесточивании шахты

Параметр	Время обесточивания шахты, ч													
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
ζ_b	0	0,80	1,32	1,60	1,76	1,84	1,87	1,89	1,89	1,88	1,86	1,84	1,82	1,80
$C_b, \%$	0,9	4,36	6,59	7,82	8,48	8,83	9,00	9,06	9,06	9,00	8,93	8,85	8,76	8,67

Так как в результате техногенной аварии выемочный участок проветривается за счет естественной тяги, можно наблюдать интенсивный рост объемной доли метана на исходящей вентиляционной струе в течение 16 часов, а затем постепенное снижение до уровня, соответствующего отсутствию дегазации на выемочном участке.

За первые 4 часа возникновения аварийной ситуации объемная доля метана на исходящей вентиляционной струе выемочного участка возросла с 0,9 до 6,4 %. Выполним сравнение кривых с фактическими и расчетными значениями в данный промежуток времени (рис. 3).

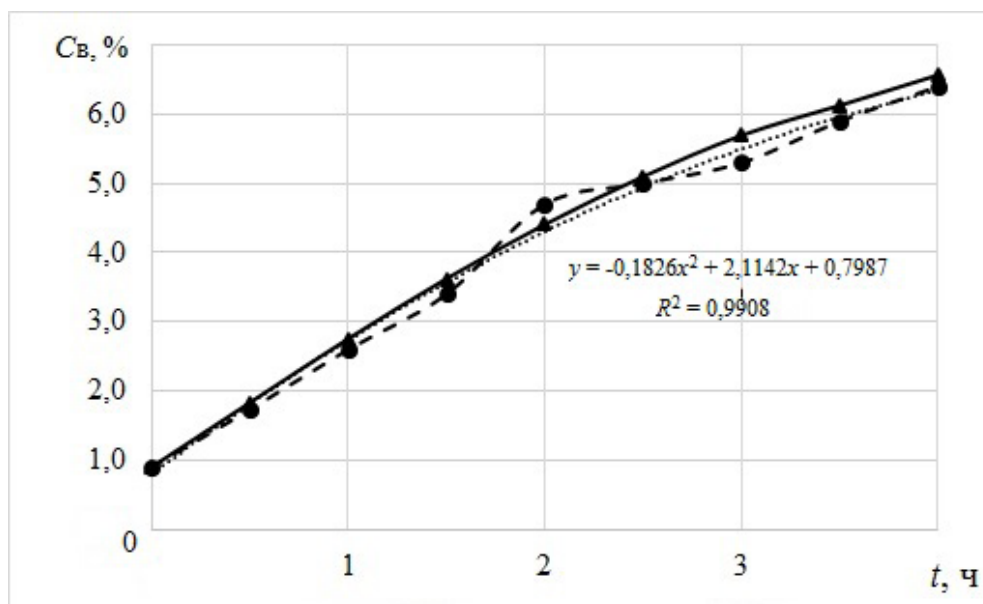


Рис. 3. Динамика роста объемной доли метана в выемочном участке ВУЛ № 3 пласта m_3 ГУП ДНР «Шахта им. А.Ф. Засядько» при обесточивании шахты:

—•— фактическое; —▲— расчетное

Сравнительный анализ кривых на графике (рис. 3) показывает, что относительная погрешность в максимальной точке отклонения расчетных значений от фактических (при $t = 3,0$ ч) после обесточивания шахты не превышает 8 %.

Выводы. Установлено, что проветривание выемочного участка за счет депрессии естественной тяги при обесточивании шахты способствует усилению протекания переходных газодинамических процессов. Увеличение метановыделения на участке при остановке дегазации обуславливается главным образом метановыделением из выработанного пространства, где основной источник метановыделения – сближенные пласты (спутники). Сравнение результатов прогнозирования газовой обстановки в выемочном участке ВУЛ № 3 пласта m_3 ГУП ДНР «Шахта им. А. Ф. Засядько» с фактическими данными, полученными в ходе ликвидации техногенной аварии, подтверждает адекватность предложенной математической модели. Максимальное относительное отклонение расчетных значений от фактических не превышает 8 %, что дает основания для дальнейших исследований.

Список литературы / References

1. Схемы и способы управления газовыделением на выемочных участках угольных шахт / Е. Л. Звягильский, Б. В. Бокий, О. И. Касимов, Н. В. Карнаух и др. – Макеевка : МакНИИ, 2006. – 78 с.

Zvyagilskiy Ye. L., Bokiyy B. V., Kasimov O. I., Karnaukh N. V. [et al.]. *Skhemy i sposoby upravleniya gazovydeleniyem na vyemochnykh uchastkakh ugolnykh shakht*

[Schemes and methods of gas emission management at working areas of coal mines]. Makeyevka, MakNII Publ., 2006, 78 p. (In Russian)

2. Иванов, Ю. А. Математическая модель и методы экстраполяции изменения содержания метана на выемочных участках / Ю. А. Иванов // Форум горняков 2007. – Днепропетровск, 2007. – Т. 1. – С. 92 – 100.

Ivanov Yu. A. *Matematicheskaya model i metody ekstrapolyatsii izmeneniya sodержaniya metana na vyemochnykh uchastkakh* [Mathematical model and methods of extrapolation of change in methane content in working areas]. *Forum hirnykiv*. Dnepropetrovsk, 2007, vol. 1, pp. 92-100. (In Russian)

3. Денисенко, В. П. Выбор структуры нейросети для прогнозирования метановыделения в горных выработках угольных шахт / В. П. Денисенко, Р. В. Верба, Е. В. Абакумова // Научный вестник НГУ. – Днепропетровск, 2008. – № 10. – С. 15 – 20.

Denisenko V. P., Verba R. V., Abakumova Ye. V. *Vybor struktury neyroseti dlya prognozirovaniya metanovydeleniya v gornykh vyrabotkakh ugolnykh shakht* [Selection of neural network structure for prediction of methane emission in mining areas of coal mines]. *Naukovyi visnyk NHU*. Dnepropetrovsk, 2008, no. 10, pp. 15-20. (In Russian)

4. Медведев, В. Н. Прогнозирование значений концентрации метана в рудничной атмосфере при интенсивных газовыделениях в горные выработки / В. Н. Медведев // Сборник научных трудов МакНИИ. – Макеевка, 2007. – № 20. – С. 110 – 119.

Medvedev V. N. *Prognozirovaniye znacheniy kontsentratsii metana v rudnichnoy atmosphere pri intensivnykh gazovydeleniyakh v gornye vyrabotki* [Prediction of methane concentration values in mine atmosphere during intense gas emissions in mine workings]. *Sbornik nauchnykh trudov MakNII*. Makeyevka, 2007, no. 20, pp. 110-119. (In Russian)

5. Греков, С. П. Моделирование переходных газодинамических процессов на добычных участках при изменениях режимов дегазации и вентиляции / С. П. Греков, И. Н. Зинченко, А. Л. Иванников // Вестник Харьковского национального университета. – Харьков, 2011. – № 960. – С. 95 – 103.

Grekov S. P., Zinchenko I. N., Ivannikov A. L. *Modelirovaniye perekhodnykh gazodinamicheskikh protsessov na dobychnykh uchastkakh pri izmeneniyakh rezhimov degazatsii i ventilyatsii* [Modeling of transient gas-dynamic processes at production units during alterations of degassing and ventilation modes]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho universytetu*. Kharkov, 2011, no. 960, pp. 95-103. (In Russian)

6. Воронов, П. С. Интенсивность изменения метановыделения на выемочных участках при отключении системы дегазации / П. С. Воронов, Н. В. Карнаух, А. В. Мавроди // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : научно-технический журнал. – 2017. – № 4(54). С. 60 – 69.

Voronov P. S., Karnaukh N. V., Mavrodi A. V. *Intensivnost izmeneniya metanovydeleniya na vyemochnykh uchastkakh pri otklyuchenii sistemy degazatsii* [Intensity of methane emission fluctuation at working areas during degassing system shutdown]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauchno-tekhnicheskiy zhurnal*. 2017, no. 4(54), pp. 60-69. (In Russian)

7. Агеев, В. Г. Математическая модель газодинамических процессов при техногенных авариях в шахтах вследствие их обесточивания / В. Г. Агеев, С. П. Греков, А. В. Мавроди // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: научно-технический журнал. – 2022. – № 2(59). С. 47 – 57.

Ageyev V. G., Grekov S. P., Mavrodi A. V. *Matematicheskaya model gazodinamicheskikh protsessov pri tekhnogennykh avariyakh v shakhtakh vsledstvie ikh obestochivaniya* [Mathematical model of gas-dynamic processes proceeding during technogenic accidents in mines caused by power failure]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauchno-tekhnicheskiy zhurnal*. 2022, no. 2(59), pp. 47-57. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 11.08.2022

Aleksandr Viktorovich Mavrodi, scientific associate; e-mail: mavrodi-av@mail.ru
State Budgetary Establishment "The Scientific Research Institute "Respirator"
of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence,
Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters"
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-34

PREDICTION OF GAS CONDITIONS AT WORKING AREA DURING BLACKOUT IN COAL MINE

Purpose. To conduct a mathematical analysis of methane concentration dynamics in the working area of the coal mine in case of malfunction of degassing and ventilation system.

Methods. Mathematical modeling of transient gas-dynamic processes in the mine working area of the mine.

Results. The gas conditions have been predicted in case of a man-made accident occurrence in the working area of the m_3 seam no. 3 VUL belonged to GUP DNR "Shakhta im. A. F. Zasyadko".

Scientific novelty. The time of the transient gas-dynamic process in the mined-out space of the working area during degassing shutdown and switching the ventilation normal mode into the natural draught mode has been determined in conditions of the mine in question.

Practical value. The obtained results will permit to predict the gas conditions in the working areas in case of the emergency situation occurrence, to determine the time of the transient gas-dynamic process and to urgently apply the required measures for rescuing the workers from the dangerous areas.

Keywords: accident; working area; mined-out space; face; methane; degassing; prediction; transient gas-dynamic process; mathematical model.

УДК [614.844.2:62-181.4]:[532.525.2:001.891.53]

*Виталий Леонидович Ефименко, ст. преп.; e-mail: vitale.2020@mail.ru**Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**«Академия гражданской защиты МЧС ДНР»**283050, Донецк, ул. Розы Люксембург, 34а. Тел.: (+38 062) 304-43-76*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ С ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ПРИНЦИПОМ РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Цель. Определить соответствие основных параметров разработанного устройства пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости предъявляемым к нему требованиям.

Методика. Экспериментальные исследования устройства пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости по определению дальности подачи, скорости газокапельного потока, диаметра капель воды и реактивной силы отдачи устройства, действующей на оператора.

Результаты. Установлен оптимальный геометрический размер сопла устройства пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости.

Научная новизна. Экспериментально определена дальность подачи газокапельного потока с соплами разных геометрических размеров, в результате чего установлено, что для пожаротушения наиболее приемлемо сопло длиной 20 см. При его применении дальность подачи газокапельного потока составила 17 м, средний диаметр капли – не более 150 мкм, реактивная сила отдачи – не более 25 Н.

Практическая значимость. Разработанное устройство с газодинамическим принципом распыления жидкости можно применять в конструкции установки импульсного пожаротушения как эффективное техническое средство для ликвидации локальных очагов пожара.

Ключевые слова: *устройства пожаротушения; газодинамический принцип распыления жидкости; дальность подачи; скорость газокапельного потока; диаметр капли; реактивная сила отдачи.*

Постановка проблемы. Разработанная математическая модель [2] позволила выполнить численные исследования и получить профиль газокапельного сопла устройства пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости. Для определения соответствия технических характеристик сопла устройства пожаротушения предъявляемым к нему требованиям необходимо провести экспериментальные исследования.

Цель работы – определить соответствие основных параметров разработанного устройства пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости предъявляемым к нему требованиям.

Результаты исследований. Для регулирования дальности подачи газокапельного потока разработано и изготовлено устройство пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости (далее – устройство пожаротушения). Проработку каждого узла и элементов устройства пожаротушения проводили в лабораторных условиях ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР». При этом исследовали, как влияет длина сопла на характеристики устройства пожаротушения, которое представлено на рис. 1.

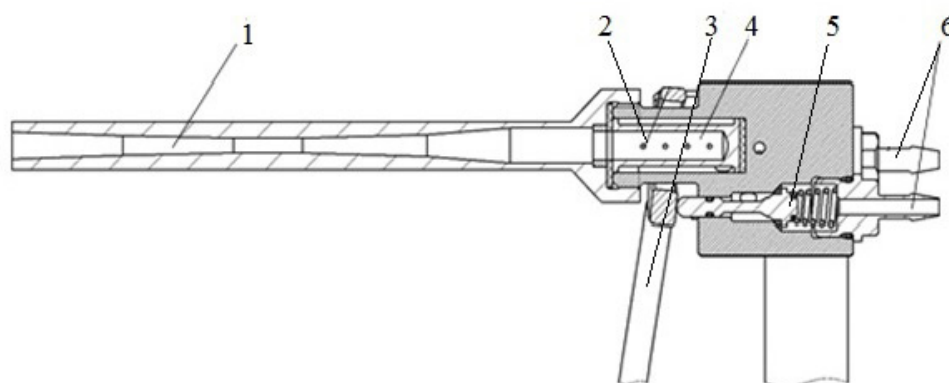


Рис. 1. Схема устройства пожаротушения:

1 – сопло; 2 – камера смешения; 3 – курок; 4 – корпус; 5 – клапан;
6 – штуцера подвода воды и газа

На основании проведенных расчетов математической модели [2] были выполнены чертежи, по которым изготовлены четыре варианта сопел длиной 0,15, 0,20, 0,25 и 0,30 м с разными геометрическими параметрами (рис. 2).

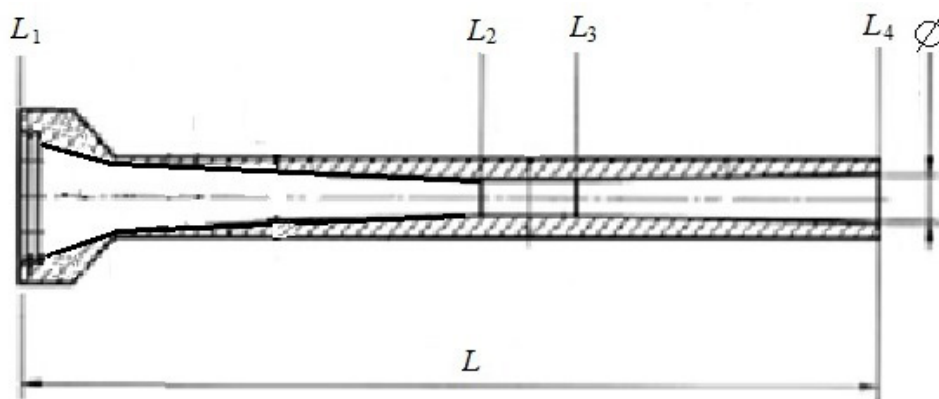


Рис. 2. Геометрические параметры сопла устройства пожаротушения:

L – длина сопла, м; $\varnothing$ – диаметр сопла, м; L_1 – координата точки, м;
 L_2 – координата точки, м; L_3 – координата точки, м; L_4 – координата точки, м

Для проведения экспериментальных исследований по определению характеристик, при которых разработанное устройство пожаротушения будет работать наиболее оптимально, изготовили образец установки (см. рис. 3).

Для установления соответствия требованиям основных параметров разработанного устройства пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости экспериментальные исследования провели на лабораторной базе и испытательной площадке ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР» в несколько этапов: определение дальности подачи газокapelного потока; определение диаметра капель воды; определение реактивной силы отдачи устройства пожаротушения; определение скорости газокapelного потока.



Рис. 3. Общий вид экспериментального образца установки пожаротушения:
1 – бак для хранения воды; 2 – баллон со сжатым воздухом; 3 – газовый редуктор давления;
4 – устройство пожаротушения; 5 – манометр; 6 – шланг подачи воды; 7 – шланг подачи воздуха

На первом этапе провели исследования на дальность подачи газокapельного потока.

Перпендикулярно центральной оси линии дорожки длиной 20 м провели линии на расстоянии 5 м друг от друга. Оператор направлял устройство пожаротушения с соплом длиной L , которое находилось на высоте 1,5 м от асфальтированной поверхности и расположено под углом 30° , и производил подачу газокapельного потока. В момент испытаний скорость ветра не превышала 3 м/с. Схема проведения испытания приведена на рис. 4.

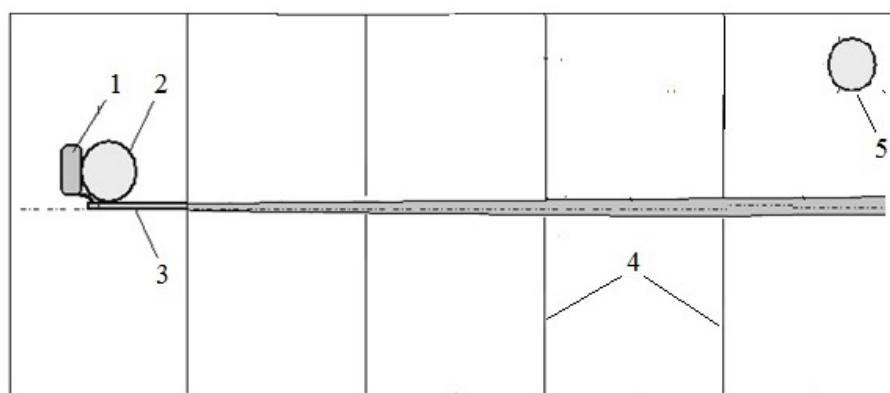


Рис. 4. Схема проведения испытания на дальность подачи газокapельного потока:

1 – образец установки; 2 – оператор; 3 – устройство пожаротушения;
4 – разметка; 5 – наблюдатель

После окончания цикла испытаний проводили замеры расстояния между границами потока. При этом для получения более точных данных по дальности подачи газокapельного потока экспериментальные исследования включали по 25 опытов с соплами разных размеров (табл. 1). Каждый раз установку пожаротушения приводили в состояние, пригодное к использованию: заправляли бак водой; заменяли израсходованный газовый баллон полным (не менее 16 МПа); делали замену сопла.

Таблица 1

Результаты проведенных экспериментальных исследований
на дальность подачи газокapельного потока

№ опыта	Максимальная дальность подачи капельного потока, м, при длине сопла			
	0,15 м	0,20 м	0,25 м	0,30 м
1.	14,2	17,0	18,0	17,5
2.	14,2	17,2	17,8	17,8
3.	13,9	16,9	17,9	17,9
4.	13,7	16,7	18,1	17,5
5.	14,3	17,3	17,9	17,9
6.	14,1	17,1	17,5	17,5
7.	14,1	17,1	18,1	17,4
8.	14,2	17,0	18,0	17,5
9.	13,8	17,2	17,6	17,6
10.	13,9	16,9	17,4	17,4
11.	13,8	16,7	17,9	17,9
12.	14,1	17,3	18,3	17,5
13.	14,1	17,1	17,9	17,9
14.	14,1	17,1	18,0	17,6
15.	14,2	17,0	17,8	17,8
16.	13,8	17,2	17,9	17,9
17.	14,2	16,9	18,0	17,5
18.	14,2	16,7	18,1	17,7
19.	13,9	17,3	18,2	17,5
20.	13,7	17,1	18,0	17,4
21.	14,2	17,1	17,9	17,9
22.	14,2	17,2	18,0	17,5
23.	13,8	17,0	17,8	17,8
24.	14,2	17,2	18,0	17,5
25.	14,4	16,9	18,2	17,7

После проведенных экспериментальных исследований было определено среднее значение дальности подачи газокapельного потока (табл. 2).

Таблица 2

Обобщенные результаты проведенных исследований на дальность подачи
газокапельного потока

Длина сопла L , м	Показатель среднего значения дальности подачи, м	Норма по техническим требованиям ТЗ 11616036-2019, м	Соответствие по ТЗ 11616036-2019
0,15	14,1	не менее 16	не соответствует
0,20	17,0	не менее 16	соответствует
0,25	17,9	не менее 16	соответствует
0,30	17,6	не менее 16	соответствует

Проведенные исследования образца устройства позволили установить, что наибольшая дальность подачи газокпельного потока по крайней капле составила 17,9 м для сопла длиной 0,25 м (рис. 5, вид сверху).



Рис. 5. Проведение исследований на дальность подачи газокпельного потока

Экспериментальные исследования показали, что дальность подачи газокпельного потока для сопел длиной 0,20, 0,25 и 0,30 м удовлетворяет техническим требованиям. Однако сопла длиной 0,25 и 0,30 м имеют большую массу и габаритные размеры в отличие от сопла длиной 0,20 м. Поэтому в качестве рабочего варианта принято сопло длиной 0,20 м. Ввиду большого количества опытов ($n = 25$) обработку результатов исследований дальности подачи газокпельного потока провели путем нахождения среднеарифметического значения.

Далее провели экспериментальные исследования по определению диаметра капель воды.

В высокоскоростных устройствах пожаротушения диаметр капли определяют на расстоянии 1 м от среза сопла [1]. В нашем случае из-за высокой компактности газокapельной струи на начальном участке длиной 1 м не удалось получить осаждения капель на подложку. В связи с этим отбор капель проводили на расстоянии 3, 6 и 10 м от среза сопла. Согласно методике определения диаметра капель воды их осаждение осуществляли на тонкую оптически прозрачную поверхность толщиной не более 1 мм. Для увеличения угла смачивания капли поверхность осаждения натирали парафином, а затем полировали до оптической прозрачности. Капли сохраняли сферическую форму и не растекались по поверхности плоскости осаждения. Для оптической контрастности пожаротушающее вещество подкрашивали раствором бриллиантовой зелени из расчета 30 мл бриллиантовой зелени на 1 л воды. Оптически прозрачную пластину с подкрашенными каплями переворачивали на 180° и устанавливали на опоры. Капли жидкости удерживались на пластине силами поверхностного натяжения из-за малой массы. Таким образом, получили чистую поверхность, на которую установили объектив измерительной лупы ЛИ-3-10^x с ценой деления 100 мкм. Измерения проводили, совмещая деления шкалы лупы с диаметром капель. Результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты экспериментальных исследований определения диаметра капель

Длина сопла L , м	Расстояние фиксирования результатов от среза сопла, м	Диаметр капли, мкм	Процентное отношение к осажденным каплям	Средний диаметр капли, мкм	Согласно требованиям норм [4], мкм	Соответствие [4]
0,15	3	300	50	250	не более 150	не соответствует
		200	40			
		100	10			
	6	300	40	230	не более 150	не соответствует
		200	50			
		100	10			
	10	300	60	270	не более 150	не соответствует
		200	40			
		100	0			
0,20	3	300	10	170	не более 150	не соответствует
		200	70			
		100	20			
	6	300	10	150	не более 150	соответствует
		200	70			
		100	20			
	10	300	5	145	не более 150	соответствует
		200	70			
		100	25			

Окончание табл. 3

Длина сопла L , м	Расстояние фиксирования результатов от среза сопла, м	Диаметр капли, мкм	Процентное отношение к осажженным каплям	Средний диаметр капли, мкм	Согласно требованиям норм [4], мкм	Соответствие [4]
0,25	3	300	20	210	не более 150	не соответствует
		200	70			
		100	10			
	6	300	10	190	не более 150	не соответствует
		200	80			
		100	10			
	10	300	25	200	не более 150	не соответствует
		200	70			
		100	5			
0,30	3	300	40	240	не более 150	не соответствует
		200	60			
		100	0			
	6	300	50	250	не более 150	не соответствует
		200	50			
		100	0			
	10	300	50	250	не более 150	не соответствует
		200	50			
		100	0			

Экспериментальные исследования показали, что среднеарифметический диаметр капель, истекающих из сопел длиной 0,15, 0,25 и 0,30 м, не соответствует требованиям; среднеарифметический диаметр капель, истекающих из сопла длиной 0,20 м, составляет около 150 мкм и соответствует определению понятия «тонкораспыленная вода», данному в работе [4].

Экспериментально определили, что действительное значение дальности подачи газокпельного потока составило 17 м, диаметр капли – 150 мкм, что удовлетворяет техническим требованиям.

На третьем этапе провели экспериментальные исследования по определению реактивной силы отдачи устройства пожаротушения.

Изготовили стенд, на котором закрепили вертикальный штатив с зафиксированным на нем динамометром с устройством пожаротушения. Оператор по команде подавал газокпельный поток, прибором фиксировали реактивную силу отдачи устройства пожаротушения. Результаты проведенных испытаний представлены в табл. 4.

Таблица 4

Показатели реактивной силы отдачи устройства пожаротушения

Длина сопла L , м	Установленное значение силы, Н	Норма, Н [3]	Соответствие
0,15	25	до 150	Соответствует
0,20	25	до 150	Соответствует
0,25	26	до 150	Соответствует
0,30	25	до 150	Соответствует

Из таблицы видно, что при установке на устройство пожаротушения сопел разной длины (0,15, 0,20, 0,25, 0,30 м) реактивная сила отдачи принимает допустимые значения [3], погрешность сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований не превышает 12,0 %.

В ходе экспериментальных исследований по определению дальности подачи газокapельного потока, диаметра капли, реактивной силы отдачи устройства пожаротушения установлено, что наиболее эффективным будет использование устройства пожаротушения с соплом длиной 0,20 м, а сопла длиной 0,15, 0,25 и 0,30 м не соответствуют техническим требованиям.

На заключительном этапе определяли скорость газокapельного потока.

Испытания проводили на испытательной площадке ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР». Оператор подавал газокapельный поток из устройства пожаротушения. Скорость ветра не превышала 3 м/с. Истечение газокapельного потока из устройства пожаротушения фиксировал видеооператор с помощью видеокамеры с частотой до 120 кадров в секунду. На вертикальной стенке на расстоянии 1 м от земли провели горизонтальную прямую длиной 20 м с разбивкой 0,5 м. Скорость подачи определяли как частное от деления расстояния 1 м, преодоленного жидкостью, на время, за которое это расстояние преодолено. Срез сопла устройства пожаротушения разместили в начале горизонтальной прямой на расстоянии 0,2 м, при этом использовали сопло длиной 0,20 м. Было проведено 25 опытов. После завершения испытаний проводили раскадровку снятого материала. Результаты экспериментального исследования обобщили в табл. 5.

Таблица 5

Скорости газокapельного потока, истекающего из сопла устройства пожаротушения

№ опыта	Скорость газокapельного потока, м/с, на расстоянии от устройства пожаротушения					
	0,5 м	3 м	6 м	10 м	15 м	17 м
1.	47,1	35,5	21,5	9,7	1,2	0,6
2.	46,7	35,7	22	9,6	1,4	0,5
3.	47,0	36	21,4	9,3	1,6	0,6
4.	47,5	35,7	21,3	9,8	1,7	0,4
5.	46,8	35,9	21,4	9,3	1,1	0,2

Окончание табл. 5

№ опыта	Скорость газокапельного потока, м/с, на расстоянии от устройства пожаротушения					
	0,5 м	3 м	6 м	10 м	15 м	17 м
6.	47,0	35,5	21,6	9,7	1,2	0,7
7.	47,3	35,7	21,4	9,6	1,4	0,5
8.	47,5	35,9	21,5	9,5	1,5	0,6
9.	47,4	35,5	21,4	9,6	1,4	0,4
10.	47,1	35,7	21,7	9,6	1,4	0,5
11.	47,5	35,6	21,6	9,3	1,6	0,5
12.	46,8	35,6	21,4	9,7	1,2	0,6
13.	47,0	35,6	21,6	9,6	1,7	0,4
14.	47,3	35,7	21,4	9,6	1,6	0,4
15.	47,5	35,9	21,5	9,3	1,7	0,5
16.	47,1	35,5	21,4	9,8	1,1	0,5
17.	46,7	35,7	21,7	9,7	1,2	0,5
18.	47,0	35,6	21,7	9,6	1,7	0,6
19.	47,3	35,7	21,6	9,6	1,6	0,4
20.	47,5	35,9	21,4	9,6	1,6	0,5
21.	47,4	35,5	21,6	9,3	1,7	0,5
22.	47,1	35,5	21,4	9,8	1,1	0,6
23.	47,5	35,7	21,7	9,7	1,2	0,4
24.	47,0	35,6	21,7	9,6	1,7	0,4
25.	47,1	35,7	21,6	9,3	1,6	0,6
Средний показатель скорости, м/с	47,2	35,7	21,5	9,6	1,4	0,5

Теоретические исследования [5] позволили установить, что для тушения пожара класса 3А диаметр капель не должен превышать 180 мкм, скорость – составлять не менее 4,8 м/с, соответственно, эффективное тушение пожара устройством пожаротушения с соплом длиной 0,20 м будет обеспечено на расстоянии 10...12 м (рис. 6).

Аппроксимация эмпирических данных моделирующей их аналитической функцией с помощью пакета программ «Статистика» позволила получить следующее выражение:

$$V = 0,015L^3 + 0,1236L^2 - 5,4632L + 50,175 \quad (1)$$

при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,994$, что соответствует индексу корреляции $R = \sqrt{R^2}$. При $R^2 = 0,994$ получаем $R = 0,9997$. Таким образом:

- фактор «дальность подачи газокапельного потока» объясняет до 99,4 % всех возможных факторов, действующих на скорость газокапельного потока;
- теснота выбранного согласно выражению (1) типа связи между фактором «дальность подачи газокапельного потока» и исследуемой переменной (скоростью газокапельного потока) равна 99,97 %.

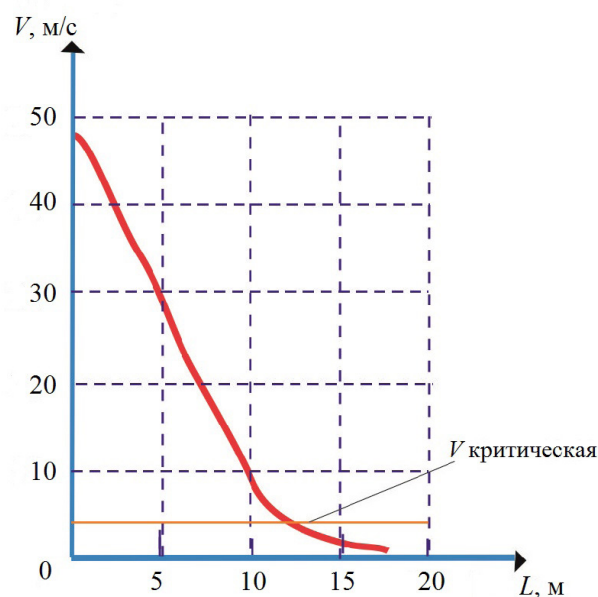


Рис. 6. График зависимости скорости газокapельного потока от расстояния

Исследования по определению скорости газокapельного потока на срезе сопла устройства пожаротушения показывают удовлетворительную сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований, максимальная погрешность которых не превышает 12,7 %.

Выводы и перспективы дальнейших исследований.

1. Экспериментально установлена дальность подачи газокapельного потока с соплами разных геометрических размеров, в результате чего определено, что наиболее приемлемо для целей пожаротушения сопло длиной 0,20 м, при котором дальность газокapельного потока составила 17 м при среднем диаметре капли не более 150 мкм.

2. Экспериментально установлено, что наиболее эффективным тушение пожара устройством пожаротушения с соплом длиной 0,20 м будет на расстоянии 10...12 м.

3. Испытания по определению эргономических показателей воздействия используемого устройства пожаротушения на оператора показали, что реактивная сила отдачи на плечо оператора составляет не более 25 Н.

Список литературы / References

1. Грицына, И. Н. Расчет длины сплошного участка ультраструй / И. Н. Грицына, С. А. Виноградов // Проблемы пожарной безопасности : сборник научных трудов / НУГЗ. – Харьков, 2011. – Вып. 29. – С. 46 – 49.

Gritsyna I. N., Vinogradov S. A. *Raschet dliny sploshnogo uchastka ultrastryuy* [Calculation of a length of continuum section of ultra-streams]. *Problemy pozharnoy*

bezopasnosti: sbornik nauchnykh trudov / NUGZ. Kharkov, 2011, issue 29, pp. 46-49. (In Russian)

2. Ефименко, В. Л. Обоснование геометрических параметров сопла пожаротушающей установки / В. Л. Ефименко // Вестник Академии гражданской защиты. – Донецк, 2022. – № 2(30). – С. 12 – 17.

Yefimenko V. L. *Obosnovaniye geometricheskikh parametrov sopla pozharotushashchey ustanovki* [Substantiation of geometrical dimensions of a nozzle of fire-extinguishing installation]. *Vestnik Akademii grazhdanskoy zashchity*. Donetsk, 2022, no. 2(30), pp. 12-17. (In Russian)

3. Капустин, А. В. Об экспертной оценке силы ударов тупыми твердыми предметами / А. В. Капустин // Судебно-медицинская экспертиза. – М., 1999. – № 1. – С. 18 – 20.

Kapustin A. V. *Ob ekspertnoy otsenke sily udarov tupymi tverdymi predmetami* [On expert evaluation of hard objects weight of blow]. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. Moscow, 1999, no. 1, pp. 18-20. (In Russian)

4. НПБ 316-2003. Переносные и передвижные устройства пожаротушения с высокоскоростной подачей огнетушащего вещества. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний / ФГУ ВНИИПО МЧС России. – М., 2003. – 50 с.

NPB 316-2003. Perenosnye i peredvizhnye ustroystva pozharotusheniya s vysokoskorostnoy podachei ognetushashchego veshchestva. Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti. Metody ispytaniy [NPB 316-2003. Mobile fire-extinguishing devices with high-speed fire-extinguishing agent delivery. Fire safety requirements. Methods of testing]. FGU VNIPO MChS Rossii, Moscow, 2003, 50 p. (In Russian)

5. Взаимодействие капельного и теплового потоков на границе пламени пожара / П. С. Пашковский, Г. И. Пештибай, Н. А. Галухин, В. Л. Ефименко // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : научно-технический журнал. – Донецк, 2019. – № 3(56). – С. 19 – 27.

Pashkovskiy P. S., Peshtibay G. I., Galukhin N. A., Yefimenko V. L. *Vzaimodeystviye kapelnogo i teplovogo potokov na granitse plameni pozhara* [Interaction between drop and heat flows on boundary of fire flame]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator" : nauchno-tekhnicheskiy zhurnal*. Donetsk, 2019, no. 3(56), pp. 19-27. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 24.08.2022

Vitaly Leonidovich Yefimenko, senior lecturer; e-mail: vitale.2020@mail.ru
State Budget Educational Institution of Higher Education "The Civil Defence Academy
of the Ministry for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences
of Natural Disasters of the Donetsk People's Republic"
283050, Donetsk, 34a, ulitsa Rozy Luxemburg. Phone: (+38 062) 304-43-76

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF FIRE-EXTINGUISHING DEVICE WITH GAS-DYNAMIC PRINCIPLE OF LIQUID SPRAY

Purpose. To determine a compliance of the main parameters of the designed gas-dynamic liquid spray fire-extinguishing device with the specified requirements.

Methods. Experimental investigations of the fire-extinguishing device with gas-dynamic principle of liquid spray for determining a distance of delivery, gas-and-drop flow velocity, water drop diameter and device recoil force impacting the operator.

Results. The optimal geometrical dimension of the nozzle of the fire-extinguishing device with gas-dynamic principle of liquid spray has been established.

Scientific novelty. There has been experimentally determined the distance of the gas-and-drop flow delivery from nozzles of different geometrical dimensions and as a result there has been established that the 20 cm long nozzle is the most preferable one for fire-extinguishment. Applying this nozzle the distance of gas-and-drop flow has made 17 m, the average drop diameter – less than 150 micrometer, the recoil force – less than 25 N.

Practical value. The designed device with gas-dynamic principle of liquid spray may be applied in construction of the pulse fire-extinguishing installation as an effective technical equipment for elimination of local seats of fire.

Keywords: *fire-extinguishing devices; gas-dynamic principle of liquid spray; delivery distance; gas-and-drop flow velocity; diameter of water drop; recoil force.*

II. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

УДК 622.822.22:001.891.572

Святослав Павлович Греков, д-р техн. наук, глав. науч. сотр.; e-mail: obep.niigd@list.ru;

Евгений Александрович Головченко, нач. отд.; e-mail: ennio_80@mail.ru

Государственное бюджетное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС ДНР»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: (+7 949) 340-97-96

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ АДСОРБЦИИ КИСЛОРОДА СЛОЕМ ГАЗОНАСЫЩЕННОГО УГЛЯ ПРИ НЕОБРАТИМОЙ РЕАКЦИИ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Цель. Исследование динамики адсорбции кислорода в слое адсорбента для прогнозирования возможности самовозгорания угля.

Методы. Анализ существующих методов по изучению динамики адсорбции компонентов адсорбтива слоем адсорбента.

Результаты. Установлена зависимость для расчета динамики адсорбции кислорода слоем скопления угля при химической реакции в горных выработках угольных шахт.

Научная новизна. Предложена математическая модель динамики адсорбции сорбента (кислорода) скоплением угля в условиях, приближенных к горным выработкам, даны ее аналитическое решение и анализ.

Практическая значимость. Исследование динамики адсорбции кислорода слоем скопления угля в условиях, приближенных к горным выработкам угольных шахт, дает возможность проанализировать влияние параметров адсорбции на процесс низкотемпературного окисления углей и повышение их температуры и, соответственно, определить возможность самонагревания (самовозгорания).

Ключевые слова: адсорбция; химическая реакция; температура диффузии; самонагревание; окисление угля; самовозгорание угля.

Постановка проблемы. Динамика хемосорбции кислорода скоплениями угля в шахтах приводит в определенных условиях к самонагреванию углей. По мере перемещения адсорбтива (со скоростью $1 \cdot 10^{-6}$ м/с, характерной для самовозгорания угля [1]) по слою скопления угля концентрация окислителя (кислорода) в нем сокращается, скорости адсорбции β_1 , с⁻¹, и химической реакции K , с⁻¹, снижаются и количество выделяющейся теплоты уменьшается. Однако за счет сокращения теплопотерь температура угольного скопления повышается. В зависимости от соотношения скорости тепловыделения и теплопотерь процесс нагревания может либо ослабеть, либо перейти от самонагревания к самовозгоранию. Согласно данным исследований [2] и практическим сведениям об эндогенных пожарах в шахтах максимум температур в скоплениях углей достигается на расстоянии 0,1...0,8 м от места поступления в них воздуха.

Исследование динамики процесса окисления угля необходимо для определения скорости перемещения фронта адсорбции для последующего расчета возможности самовозгорания угля.

Цель работы – составить математическую модель динамики адсорбции кислорода в слое адсорбента (угля).

Результаты исследования. Для определения искомых функций распределения адсорбата используют два метода: фенолинологический и статистический, причем чаще всего первый. Фенолинологический метод устанавливает функциональные зависимости между величинами, характеризующими процесс с макроскопической точки зрения. Рассмотрим уравнения из работы [2], приняв в соответствии с возможностями практических расчетов адсорбционных процессов некоторые допущения:

- подвижная фаза несжимаема;
- убыль компонентов адсорбции столь мала, что возможно пренебречь изменениями плотности потока адсорбтива вследствие его адсорбции;
- движение потока адсорбтива осуществляется в одном направлении с постоянной скоростью.

В рассматриваемом случае при адсорбции слоем угля смеси O_2 и N_2 (воздуха) происходит еще и химическая реакция, что существенным образом влияет на скорость поглощения веществ и их количество, а следовательно, на концентрацию примеси на выходе из колонки.

Для математического описания процесса сорбции, в случае наличия химической реакции первого порядка в зернах сорбента, введем вначале концентрацию поглощенного вещества в единичном объеме слоя $c_1(x, \tau)$. Тогда величина $\partial c_1 / \partial \tau$ будет характеризовать интенсивность «потерь» примеси в единичном объеме, зависящую от времени и толщины слоя. Для описания интенсивности поглощения предположим вначале, что в единичном объеме содержится определенное количество зерен адсорбента N радиусом R .

Тогда можно записать

$$\frac{\partial c_1}{\partial \tau} = 4\pi r^2 N D_1 \left. \frac{\partial c^*}{\partial r} \right|_{r=R}, \quad (1)$$

где c^* – концентрация примеси в порах сорбента в газообразной фазе, моль/м³;

c_1 – концентрация поглощенного вещества в единичном объеме слоя, моль/м³;

r – пространственная координата, м;

D_1 – коэффициент диффузии в твердом теле, м²/с.

Для нахождения величины $\partial c^* / \partial r \big|_{r=R}$ рассмотрим краевую задачу типа [2]. Математическая модель, характеризующая взаимосвязь величины c^* с концентрациями адсорбированной примеси в твердом теле a_1 и газообразной фазе a_2 , моль/м³, имеет вид

$$D_1 \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial c^*}{\partial r} \right) - \beta_1 (\gamma_1 \partial c^* - a_1) - \beta_2 (\gamma_1 \partial c^* - a_2) = \frac{\partial c^*}{\partial \tau}; \quad (2)$$

$$\partial a_1 / \partial \tau = \beta_1 (\gamma_1 \partial c^* - a_1) - k_1 a_1 a_1^*; \quad (3)$$

$$\partial a_2 / \partial \tau = \beta_2 (\gamma_2 \partial c^* - a_2) - k_2 a_2 a_2^*, \quad (4)$$

где τ – временная координата;

β_1, β_2 – скорости адсорбции в единичном объеме слоя в твердом теле и в газообразной фазе соответственно, с^{-1} ;

γ_1, γ_2 – коэффициент Генри в единичном объеме слоя в твердом теле и в газообразной фазе соответственно;

k_1, k_2 – скорости химической реакции в твердом теле и в газообразной фазе соответственно, с^{-1} ;

a_1^*, a_2^* – концентрации адсорбированной примеси в твердом теле и в газообразной фазе в порах сорбента, моль/ м^3 .

Уравнение переноса примеси в пористом слое с учетом поглощения имеет вид

$$\frac{\partial c_1}{\partial \tau} + \frac{\partial c}{\partial \tau} + u \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \quad (5)$$

где c – текущая концентрация вещества, моль/ м^3 ;

u – скорость потока, м/с;

x – пространственная координата;

D – коэффициент диффузии в фильтрационном потоке, $\text{м}^2/\text{с}$.

Граничные и начальные условия

$$\frac{\partial c^*}{\partial r} \Big|_{r=R} = -H(c^* - c); \quad (6)$$

$$c(0, \tau) = f(\tau); \quad (7)$$

$$c(x, 0) = c^*(r, 0) = a_1(r, 0) = a_2(r, 0) = 0, \quad (8)$$

где H – приведенный коэффициент массоотдачи, определяется из выражения $H = \beta / D_1$; β – коэффициент массоотдачи.

Для решения выражений (1) – (8) перейдем вначале к безразмерным координатам и функции и получим

$$\frac{\partial \bar{c}_1}{\partial \text{Fo}} + \frac{\partial \bar{c}}{\partial \text{Fo}} + u^* \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial z^2};$$

$$\frac{\partial \bar{c}_1}{\partial Fo} = \frac{\Pi}{Bi} \frac{\partial \bar{c}^*}{\partial \rho} \Big|_{\rho=1};$$

$$\frac{\partial \bar{c}^*}{\partial Fo} = \frac{D_1}{D} \frac{1}{\rho^2} \left(\rho^2 \frac{\partial \bar{c}^*}{\partial \rho} \right) - Ka_1 \gamma_1 (\bar{c}^* - \bar{a}_1) - Ka_2 \gamma_2 (\bar{c}^* - \bar{a}_2); \quad (9)$$

$$\frac{\partial \bar{a}_i}{\partial Fo} = Ka_i (\bar{c}^* - \bar{a}_i) - \Gamma_i \bar{a}_i \quad (i=1,2), \quad (10)$$

где $\bar{c}$, $\bar{c}^*$, $\bar{c}_1$ – безразмерная текущая концентрация вещества, безразмерная концентрация примеси в порах сорбента в газообразной фазе, безразмерная концентрация поглощенного вещества в единичном объеме слоя;

Fo – критерий Фурье;

u^* – безразмерная скорость потока;

Bi – критерий Био;

Π – безразмерный приведенный коэффициент диффузии;

ρ – комплексный параметр преобразования Лапласа;

Ka_i , Ka_1 , Ka_2 – безразмерный критерий адсорбции;

$\bar{a}_i$, $\bar{a}_1$, $\bar{a}_2$ – безразмерные концентрации примесей;

Γ_i – безразмерный критерий химической реакции;

z – пространственная координата.

С граничными условиями

$$\frac{\partial \bar{c}^*}{\partial \rho} \Big|_{\rho=\tau} = -Bi (\bar{c}^* - \bar{c}) \Big|_{\rho=\tau};$$

$$\bar{c}(0, Fo) = \bar{f}(Fo);$$

$$\bar{c}(z, 0) = \bar{c}^*(z, \rho, 0) = \bar{c}_1(z, \rho, 0) = \bar{a}_1(z, \rho, 0) = \bar{a}_2(z, \rho, 0) = 0. \quad (11)$$

Произведя преобразование Лапласа, вместо выражений (9) – (11) будем иметь

$$p\tilde{c}_1 + p\tilde{c} + u^* d\tilde{c} / dz = d^2 \tilde{c} / dz^2; \quad (12)$$

$$p\tilde{c}_1 = \frac{\Pi}{Bi} \cdot \frac{\partial}{\partial \rho} \tilde{c}^* \Big|_{\rho=1}; \quad (13)$$

$$p\tilde{c}_1 = Ka_i (\tilde{c}^* - \tilde{a}_i) - \Gamma_i \tilde{a}_i, \quad (14)$$

при условиях

$$\frac{\partial \tilde{c}^*}{\partial \rho} \Big|_{\rho=\tau} = -\text{Bi} \left(\tilde{c}^* - c \right) \Big|_{\rho=1}; \quad (15)$$

$$\tilde{c}(0) = \tilde{f}(\rho), \quad (16)$$

где $\tilde{c}$, $\tilde{c}^*$, $\tilde{c}_1$ – приведенная текущая концентрация вещества, приведенная концентрация примеси в порах сорбента в газообразной фазе, приведенная концентрация поглощенного вещества в единичном объеме слоя;

$\tilde{a}_i$ – приведенная концентрация примесей.

Из выражения (14) исключаем $\tilde{a}_i$

$$\tilde{a}_i = \left[Ka_i / (p + \Gamma_i + Ka_i) \right] \tilde{e}^*. \quad (17)$$

Тогда для $\tilde{e}^*$ получаем из выражения (14) следующее уравнение:

$$\frac{D_1}{D} \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho^2 \frac{\partial \tilde{e}^*}{\partial \rho} \right) = p \varphi(p) e^*, \quad (18)$$

где $\varphi(p)$ – приведенный параметр преобразования Лапласа

$$\varphi(p) = 1 + \frac{1}{p} \sum_{i=1}^2 \frac{Ka_i \gamma_i \Gamma_i}{Ka_i + \Gamma_i} + \sum_{i=1}^2 \frac{Ka_i^2 \gamma_i}{(Ka_i + \Gamma_i)(p + Ka_i + \Gamma_i)}. \quad (19)$$

Решение этого уравнения, удовлетворяющее условию $\partial \tilde{e}^* / \partial \rho \Big|_{\rho=0} = 0$, будет

$$\tilde{c}^* = A_\lambda(z) \sin \lambda \rho / \rho, \quad (20)$$

где $\lambda = (D/D_1)^{1/2} [-p \varphi(p)]^{1/2}$;

$A_\lambda(z)$ – пока неизвестная функция z .

Из уравнения (13) находим

$$\tilde{c}_1 = \frac{\Pi}{\text{Bi} \rho} (\lambda \cos \lambda - \sin \lambda) A_\lambda(z), \quad (21)$$

а из условия (16) получаем

$$\tilde{c} = \left\{ \left[\lambda \cos \lambda + (\text{Bi} - 1) \sin \lambda \right] / \text{Bi} \right\} A_\lambda(z). \quad (22)$$

Подставляя (22) в уравнение (12), получим выражение для $A_\gamma(z)$

$$A_{\lambda}'' - u^* A_{\lambda}' - \left(p + \Pi - \Pi \frac{\text{Bi} \sin \lambda}{s_{\lambda}} \right) A_{\lambda} = 0, \quad (23)$$

$$\text{где } s_{\lambda} = \lambda \cos \lambda + (\text{Bi} - 1). \quad (24)$$

Решением этого уравнения, удовлетворяющим условию конечности при $z \rightarrow \infty$, будет следующее выражение:

$$A_{\lambda}(z) = A_{\lambda} \exp \left\{ \left[\frac{u^*}{2} - \left(\frac{u^{*2}}{4} + p + \Pi - \Pi \frac{\text{Bi} \sin \lambda}{s_{\lambda}} \right)^{\frac{1}{2}} \right] z \right\}, \quad (25)$$

где ветвь корня фиксируется условием $\text{Re} \left(\frac{u^{*2}}{4} + p + \Pi - \Pi \frac{\text{Bi} \sin \lambda}{s_{\lambda}} \right)^{\frac{1}{2}} > 0$.

Из условия (16) имеем $A_{\lambda} = \text{Bi} \tilde{f} / s_{\lambda}$, следовательно,

$$A_{\lambda}(z) = \frac{\text{Bi}}{s_{\lambda}} \tilde{f} \exp \left\{ \left[\frac{u^*}{2} - \left(\frac{u^{*2}}{4} + p + \Pi - \Pi \frac{\text{Bi} \sin \lambda}{s_{\lambda}} \right)^{\frac{1}{2}} \right] z \right\}. \quad (26)$$

Подставляя выражение (26) в выражения (20), (21) и (22), получаем функции $\tilde{c}$, $\tilde{c}_1$ и $\tilde{c}^*$, а из выражения (17) получаем $\tilde{a}_i$, что и дает преобразование Лапласа искомого решения.

Предполагая возможность разложения показателя экспоненты в выражении (26) в ряд и ограничиваясь только первым членом (что справедливо при больших u^*), выражение (26) можно записать в виде

$$A_{\lambda}(z) = \frac{\text{Bi}}{s_{\lambda}} \tilde{f} \exp \left(-\frac{z}{u^*} p \right) \exp \left(-\frac{\Pi}{u^*} \cdot \frac{\lambda \cos \lambda - \sin \lambda}{s_{\lambda}} z \right). \quad (27)$$

Полагая $\tilde{f} = 1 / p$ и подставляя значение $A_{\lambda}(z)$ в выражения для $\tilde{c}$, $\tilde{c}_1$ и $\tilde{c}^*$, получим

$$\tilde{c} = \frac{1}{p} \exp \left(-\frac{z}{u^*} p \right) \exp \left(-\frac{\Pi}{u^*} \cdot \frac{\lambda \cos \lambda - \sin \lambda}{s_{\lambda}} z \right); \quad (28)$$

$$\tilde{c}_1 = -\frac{\Pi}{p^2} \cdot \frac{\lambda \cos \lambda - \sin \lambda}{s_{\lambda}} \exp \left(-\frac{z}{u^*} p \right) \exp \left(-\frac{\Pi}{u^*} \cdot \frac{\lambda \cos \lambda - \sin \lambda}{s_{\lambda}} z \right); \quad (29)$$

$$\tilde{c}^* = \frac{\text{Bi}}{s_\lambda p} \cdot \frac{\sin \lambda \rho}{\rho} \exp\left(-\frac{z}{u^*} p\right) \exp\left(-\frac{\Pi}{u^*} \cdot \frac{\lambda \cos \lambda - \sin \lambda}{s_\lambda} z\right). \quad (30)$$

Функции $\tilde{c}$ и $\tilde{c}^*$ имеют в точке $p = 0$ полюсы первого порядка с вычетами

$$\bar{c}^{(0)} = \exp\left(-\frac{\Pi}{u^*} \cdot \frac{\lambda_0 \cos \lambda_0 - \sin \lambda_0}{s_{\lambda_0}} z\right); \quad (31)$$

$$\bar{c}^{*(0)} = \frac{\text{Bi}}{s_{\lambda_0}} \cdot \frac{\sin \lambda_0 \rho}{\rho} \exp\left[-\frac{\Pi}{u^*} \cdot \frac{\lambda_0 \cos \lambda_0 - \sin \lambda_0}{s_{\lambda_0}} z\right], \quad (32)$$

$$\text{где } \lambda_0^2 = -\frac{D}{D_1} \sum_{i=1}^2 \frac{\text{Ka}_i \gamma_i \Gamma_i}{\text{Ka}_i \gamma_i + \Gamma_i}. \quad (33)$$

Заметим, что при отсутствии реакции, то есть при $\Gamma_i = 0$, $\lambda_0 = 0$. (Этот случай будет рассмотрен отдельно.) Отметим также, что входящие в выражения (28) – (30) функции $(\lambda \cos \lambda - \sin \lambda)/s_\lambda$ и $\sin \lambda_\rho/s_\lambda$ являются четными по λ , поэтому фактически они будут зависеть только от λ_0^2 и, следовательно, при $\lambda = \lambda_0$ принимают действительные значения. Что касается вычетов в точках $s_\lambda = 0$, то в таком виде их вычисление затруднительно [4], поэтому ограничимся малыми значениями z и в выражении (28) положим

$$\exp\left(-\frac{\Pi}{u^*} \cdot \frac{\lambda \cos \lambda - \sin \lambda}{s_\lambda} z\right) = 1 - \frac{\Pi}{u^*} \cdot \frac{\lambda \cos \lambda - \sin \lambda}{s_\lambda} z,$$

а в выражении (30) оставим только 1. Тогда после преобразования Лапласа будем иметь

$$\begin{aligned} \bar{c} = & \exp\left(-\frac{\Pi}{u^*} \cdot \frac{\lambda_0 \cos \lambda_0 - \sin \lambda_0}{s_{\lambda_0}} z\right) - \\ & - \frac{\Pi}{u^*} z \sum_k \frac{\text{Bi} \lambda_k}{\text{Bi}(\text{Bi} - 1) + \lambda_k^2} \sum_{n=1}^3 \frac{\exp\left[p_{kn} \left(F_0 - z / u^*\right)\right]}{p_{kn} \lambda_{kn}}; \end{aligned} \quad (34)$$

$$\bar{c}^* = -\frac{3Bi}{\lambda_0^2} \frac{\lambda_0 \cos \lambda_0 - \sin \lambda_0}{s\lambda_0} \times \\ \times \exp\left(-\frac{\Pi}{u^*} \frac{\lambda_0 \cos \lambda_0 - \sin \lambda_0}{s\lambda_0} z\right) - \frac{1}{2} \sum_k B_k \lambda_k \sum_{n=1}^3 \frac{\exp\left[p_{kn} \left(F_0 - z / u^*\right)\right]}{p_{kn} \lambda_{kn}}. \quad (35)$$

Здесь предварительно в выражении для $\bar{c}^*$ проведено усреднение по ρ и введены следующие обозначения: λ_k – корень уравнения $s\lambda = 0$; p_{kn} – корень уравнения

$$\lambda_k^2 = -(D / D_1) p\phi(p); \\ \lambda_{kn}' = \frac{d}{dp} \lambda_k |_{p=p_{kn}}, \quad (36)$$

значения B_k приведены в работе [3].

Вычисления вычетов в точках p_{kn} приведены в работе [5]. Выражения (34) и (35) имеют место только для $F_0 > z/u^*$. Если $F_0 < \frac{z}{u^*}$, то $\bar{c} = \bar{c}^* = 0$. Что касается функции $\bar{a}_i$, то она определяется из выражения (17) по формуле

$$\bar{a}_i = \begin{cases} Ka_i \int_{z/u^*}^{F_0} \exp\left[-(Ka_i + \Gamma_i)(F_0 - \tau)\right] \bar{c}^*(\tau) d\tau & (F_0 > z / u^*), \\ 0 & (F_0 < z / u^*), \end{cases} \quad (37)$$

а функция $\bar{c}_1$ при необходимости может быть найдена из уравнения (1). Отметим, что в случае пренебрежения диффузионным членом $D\partial^2 c / \partial x^2$ в уравнении (5) приближение, которое мы использовали в выражении (32), приводит к точному значению, если предположить, что $D = uR$ и, следовательно, $u^* = 1$.

Полученные решения позволяют вычислить концентрации примеси при ее фильтрации через слой сорбента с адсорбцией двумя компонентами и химической реакцией первого порядка.

Кривые динамики концентраций примеси в потоке газа через слой зернистого сорбента представлены на рисунке. Показано влияние химической реакции на фоне молекулярной адсорбции на кривые динамики концентраций примеси в газоздушном потоке при различных его скоростях.

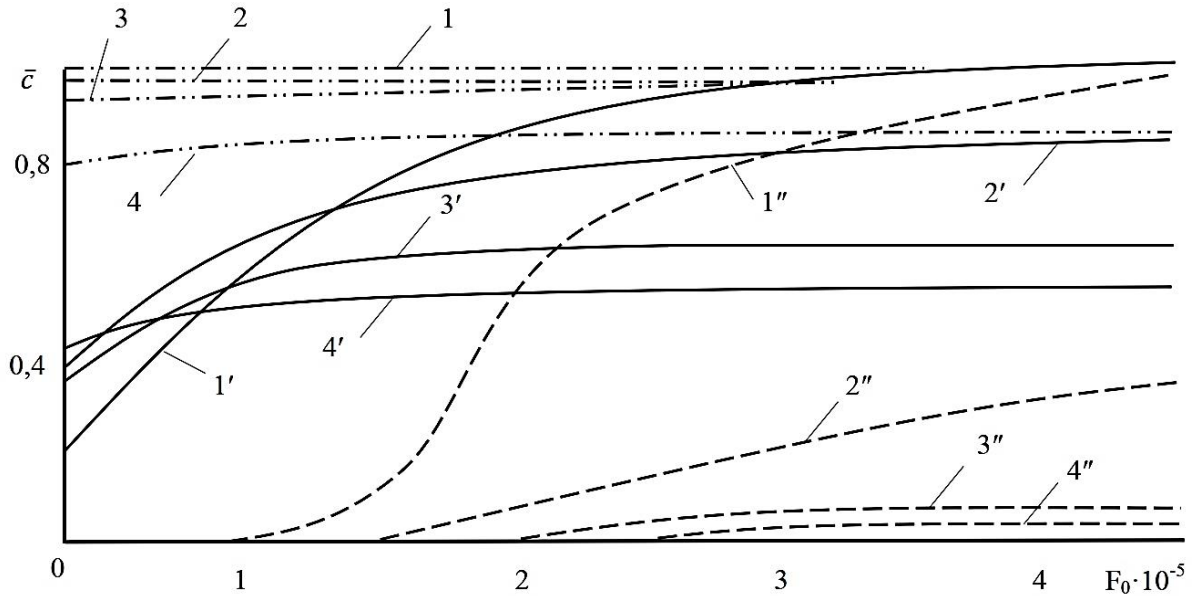


Рис. Кривые динамики (1) – (4) концентраций примеси в потоке газа через слой зернистого сорбента:

при $Ka_1 = 0,25 \cdot 10^{-4}$, $Ka_2 = 0$, $\Gamma_2 = 0$, $x = 1$ м, $\beta = 0,3 \cdot 10^{-4}$ м/с и критериях реакций Γ_1 соответственно $0,25 \cdot 10^{-9}$; $0,25 \cdot 10^{-5}$; $0,25 \cdot 10^{-4}$; $0,25 \cdot 10^{-2}$; $u = 0,35$ м/с, (1'–4') при $u = 0,035$ м/с, (1''–4'') при $u = 0,0035$ м/с

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Разработаны физическая и адекватная ей модели изотермической адсорбции веществ слоем сорбента при наличии адсорбции двумя его компонентами и химической реакции первого порядка. Получено точное аналитическое решение задачи динамики адсорбции кислорода слоем скопления угля. Предложена упрощенная зависимость для расчета динамики адсорбции и химической реакции кислорода слоем скопления угля в горных выработках угольных шахт.

Список литературы / References

1. Пашковский, П. С. Актуальные вопросы борьбы с самовозгоранием угля / П. С. Пашковский, С. П. Греков, И. Н. Зинченко. – Донецк : Арпи, 2012. – 656 с.
Pashkovskiy P. S., Grekov S. P., Zinchenko I. N. *Aktualnye voprosy borby s samovozgoraniyem uglya* [Actual problems of fighting the spontaneous combustion of coal]. Donetsk, Arpi Publ., 2012, 656 p. (In Russian)
2. Пашковский, П. С. Эндогенные пожары в угольных шахтах / П. С. Пашковский. – Донецк : Ноулидж (Донецкое отделение), 2013. – 792 с.
Pashkovskiy P. S. *Endogennye pozhary v ugolnykh shakhtakh* [Spontaneous fires in coal mines]. Donetsk, Knowledge Publ. (Donetsk branch), 2013, 792 p. (In Russian)
3. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высш. школа, 1967. – 599 с.

Lykov A. V. *Teoriya teploprovodnosti* [Thermal conductivity theory]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1967, 599 p. (In Russian)

4. Карнаухов, А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов / А. П. Карнаухов. – Новосибирск : Наука. Сибирское предприятие РАН, 1999. – 470 с.

Karnaukhov A. P. *Tekstura dispersnykh i poristyykh materialov* [Texture of disperse and porous materials]. Novosibirsk, Nauka. Sibirskoye predpriyatiye RAN Publ., 1999, 470 p. (In Russian)

5. Агеев, В. Г. Профилактика эндогенной пожароопасности : монография / В. Г. Агеев, П. С. Пашковский, С. П. Греков. – Донецк, 2020. – 592 с.

Ageyev V. G., Pashkovskiy P. S., Grekov S. P. *Profilaktika endogennoy požaroopasnosti: monografiya* [Prevention of spontaneous fire hazard: monograph]. Donetsk, 2020, 592 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. Г. Агеевым
Дата поступления рукописи 25.07.2022

Svyatoslav Pavlovich Grekov, Dr. Sci. (Tech.), senior scientific researcher; e-mail: obep.niigd@list.ru;

Yevgeny Aleksandrovich Golovchenko, head of department; e-mail: ennio_80@mail.ru

State Budgetary Establishment "The Scientific Research Institute "Respirator"

of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence,

Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters"

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+7 949) 340-97-96

MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMICS OF OXYGEN ADSORPTION BY LAYER OF GAS-SATURATED COAL DURING IRREVERSIBLE REACTION OF THE FIRST ORDER

Purpose. Investigation of the dynamics of oxygen adsorption within the layer of adsorbent for predicting a probability of coal spontaneous combustion.

Methods. Analysis of current methods for investigation of dynamics of the adsorption of the adsorbed substance components by the layer of the adsorbent.

Results. The dependence has been determined for calculating the dynamics of oxygen adsorption by the coal accumulation layer during proceeding chemical reaction in mine workings of the coal mines.

Scientific novelty. The mathematical model of dynamics of the sorbent (oxygen) adsorption by the coal accumulation under conditions close to mine workings has been proposed and its analytical solution and analysis have been presented.

Practical value. Investigation of the dynamics of oxygen adsorption by the layer of coal accumulation under conditions close to the mine workings of coal mines provides a possibility to analyze the influence of adsorption parameters on the coal low-oxidation process and elevation of their temperature and consequently to determine the probability of spontaneous heating (spontaneous combustion).

Keywords: *adsorption; chemical reaction; diffusion temperature; spontaneous heating; coal oxidation; coal spontaneous combustion.*

УДК 681.121:[622.868.42:622.81]

Георгий Иванович Пефтибай, нач. отд.; e-mail: niigd.osmas-1@mail.ru;

Николай Александрович Галухин, ст. науч. сотр.; e-mail: niigd.osmas-7@mail.ru;

Антон Витальевич Еремин, инж.-констр. I кат.; e-mail: a.v.eremin18@gmail.com

Государственное бюджетное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС ДНР»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: (+38 062) 332-78-36

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТИ РЕГУЛЯТОРА РАСХОДА ВОДЫ ДЛЯ СМЕСИТЕЛЬНО- НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Цель. Экспериментально исследовать абсолютную и относительную погрешности регулятора расхода воды для обеспечения стабильной и контролируемой подачи воды в смесительно-нагнетательные установки.

Методы. Экспериментальные – для определения расхода воды при перепадах давления; статистические методы обработки данных.

Результаты. Получены численные значения абсолютной и относительной погрешностей регулирования расхода воды. Показано, что относительная погрешность расхода воды меньше, чем в существующих смесительно-нагнетательных установках.

Научная новизна. Впервые разработан регулятор расхода воды для смесительно-нагнетательных установок с погрешностью регулирования не более 7 %.

Практическая значимость. Регулятор расхода воды разработан для обеспечения стабильной и контролируемой подачи воды в смесительно-нагнетательную установку в автоматическом режиме без участия обслуживающего персонала. Точное регулирование воды при приготовлении твердеющего раствора позволяет стабилизировать поддержание водовязущего отношения для повышения механической прочности перемычки.

Ключевые слова: регулятор; расход воды; абсолютная погрешность; относительная погрешность; смесительно-нагнетательная установка.

Постановка проблемы. При ликвидации пожаров в угольных шахтах широкое распространение получил способ изоляции аварийного участка путем возведения взрывоустойчивых перемычек. Наиболее прогрессивный способ возведения взрывоустойчивых перемычек – гидромеханический, когда в загрузочное устройство смесительно-нагнетательной установки подаются сыпучие твердеющие материалы (гипс или цементные смеси) и вода затворения. В настоящее время в существующих смесительно-нагнетательных установках отклонение расхода воды от требуемого может достигать до 20 % при перекачивании раствора на расстояние около 200 м.

Основной параметр, определяющий качество приготовленного раствора, – водовязущее отношение. При его отклонении в меньшую сторону снижается механическая прочность материала сооруженной перемычки, а при увеличении – сокращается дальность перекачивания раствора, увеличиваются

абразивный износ резинового вкладыша винтового насоса и потребляемая насосом мощность. Поэтому стабильность поддержания водовяжущего отношения – важный фактор, позволяющий повысить качество возводимой переемычки.

Анализ последних исследований. В практике сооружения взрывоустойчивых переемычек комплексами типа «Темп» и ОПР [1] применение получили гидравлические пульта управления с дифференциальными манометрами, которыми измеряют перепад давления воды на мерном отверстии (диафрагме). Учитывая перепад давления и темп подачи гипса, оператор комплекса регулирует расход воды за счет увеличения или уменьшения площади проходного сечения диафрагмы. Агрегаты «Моно» и «Монолит-1М» оснащены приборами регистрации объемного расхода воды – расходомерами. При увеличении расхода воды оператор прикрывает вентиль подачи воды, а при уменьшении приоткрывает его. Недостаток вышеописанных способов при регулировании расхода воды – необходимость постоянного контроля измерительных приборов оператором, что повышает нагрузку на него и не исключает влияния человеческого фактора на качество приготовленного раствора. В работах [2, 3] предложено использовать автоматический регулятор, исключаящий оператора из процесса регулирования расхода воды. Принцип работы регулятора расхода воды основан на автоматической стабилизации перепада давления на расходном окне за счет организации отрицательной обратной связи по давлению.

Цель исследования – экспериментально исследовать абсолютную и относительную погрешности регулятора расхода воды для обеспечения стабильной и контролируемой подачи воды в смесительно-нагнетательные установки.

Результаты исследования. Ниже представлен разработанный опытный образец регулятора расхода воды (рисунок).

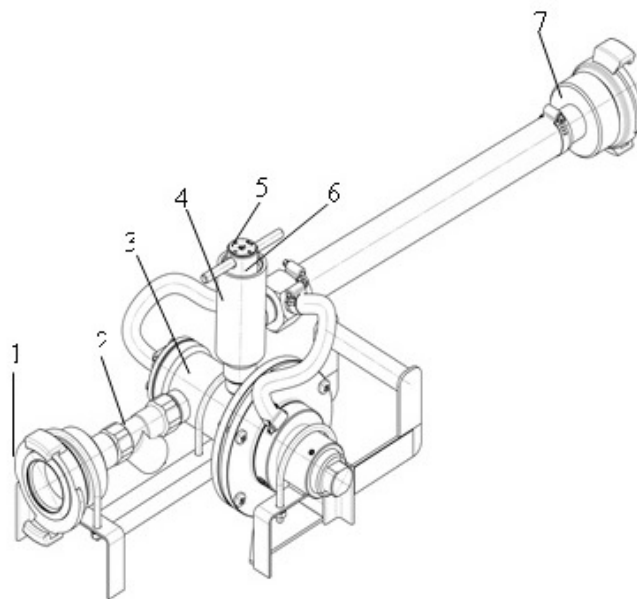


Рис. Опытный образец регулятора расхода воды (общий вид):

1 – входной патрубок; 2 – фильтр; 3 – узел регулирования давления;
4 – узел регулирования расхода; 5 – шкала; 6 – шток; 7 – выходной патрубок

Вода из пожарно-оросительного трубопровода подается во входной патрубок, проходит через фильтр к узлу регулирования давления и узлу регулирования расхода, а затем через выходной патрубок поступает в смесительно-нагнетательную установку. Регулирование расхода воды осуществляется путем вращения штока вместе с круговой шкалой, закрепленной на верхнем торце штока. Увеличение расхода воды происходит при повороте штока против часовой стрелки, а уменьшение расхода воды – по часовой стрелке.

Поэтому, изменяя высоту поднятия или опускания штока (изменяя площадь сечения зазора), можно получить регулируемый и стабильный расход воды, соответствующий показанию шкалы, закрепленной на верхнем торце штока.

Для экспериментальной проверки погрешности расхода воды входной патрубок регулятора расхода соединяли с помощью рукава с выходом насоса пожарного автомобиля. Измерение расхода воды осуществляли при четырех положениях шкалы, соответствующих расходам $0,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$; $0,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$; $0,87 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$; $1,03 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ при давлениях 0,6 МПа и 0,8 МПа. Давление воды регулировали редукционным клапаном, расположенным на гидравлическом пульте пожарного автомобиля. На постоянство расхода воды влияет множество независимых факторов: нестабильность сил сухого трения в подвижных частях (клапан, пружина, мембрана, пята), пульсирующая подача воды на вход регулятора, температурные деформации деталей, изменения вязкости и плотности воды под действием температуры, неуравновешенность осевой гидродинамической силы при обтекании клапана и др. Вышеперечисленные факторы обуславливают случайную составляющую погрешности расхода воды. На полную погрешность устройства влияет также инструментальная погрешность, обусловленная несовершенством механизма настройки круговой шкалы на требуемый расход воды.

При статистической обработке измеренных параметров принимаем, что множество независимых случайных факторов, действующих разнонаправленно, имеет нормальный закон распределения. Ввиду малого объема выборки ($n = 3$) измеренных значений расхода воды проверку на принадлежность к нормальному закону распределения с помощью статистических критериев не производим [4]. Кроме того, при $n < 30$ для оценки погрешности применим функцию Стьюдента [5, 6]. Для каждого положения шкалы проводили три измерения и фиксировали показания (табл. 1).

Среднее арифметическое значение $\bar{x}$, $\text{м}^3/\text{с}$, находили по формуле

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3},$$

где x_1, x_2, x_3 – измеренные значения расхода воды, $\text{м}^3/\text{с}$.

Таблица 1

Измеренные значения расхода воды

Расход воды при положении шкалы устройства, соответствующем расходам, м ³ /с	Значение показателя в зависимости от давления							
	0,6 МПа				0,8 МПа			
	x_1	x_2	x_3	$\bar{x}$	x_1	x_2	x_3	$\bar{x}$
$0,55 \cdot 10^{-3}$	$0,57 \cdot 10^{-3}$	$0,54 \cdot 10^{-3}$	$0,56 \cdot 10^{-3}$	$0,56 \cdot 10^{-3}$	$0,59 \cdot 10^{-3}$	$0,57 \cdot 10^{-3}$	$0,57 \cdot 10^{-3}$	$0,58 \cdot 10^{-3}$
$0,75 \cdot 10^{-3}$	$0,71 \cdot 10^{-3}$	$0,72 \cdot 10^{-3}$	$0,76 \cdot 10^{-3}$	$0,73 \cdot 10^{-3}$	$0,82 \cdot 10^{-3}$	$0,78 \cdot 10^{-3}$	$0,77 \cdot 10^{-3}$	$0,79 \cdot 10^{-3}$
$0,87 \cdot 10^{-3}$	$0,79 \cdot 10^{-3}$	$0,87 \cdot 10^{-3}$	$0,90 \cdot 10^{-3}$	$0,85 \cdot 10^{-3}$	$0,89 \cdot 10^{-3}$	$0,91 \cdot 10^{-3}$	$0,85 \cdot 10^{-3}$	$0,88 \cdot 10^{-3}$
$1,03 \cdot 10^{-3}$	$1,04 \cdot 10^{-3}$	$1,05 \cdot 10^{-3}$	$1,01 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$1,01 \cdot 10^{-3}$	$1,01 \cdot 10^{-3}$	$1,03 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$

Ввиду малой выборки измерений среднеквадратичное отклонение среднего расхода $S_{\bar{x}}$, м³/с, находили по формуле

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}},$$

где S_x – среднеквадратичное отклонение, м³/с, которое определяем по формуле

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^3 (x_i - \bar{x})^2}. \quad (1)$$

Зная $S_{\bar{x}}$, находим доверительный интервал Δx , м³/с

$$\Delta x = t_{p,k} S_{\bar{x}}, \quad (2)$$

где $t_{p,k}$ – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности p и числа степеней свободы k .

Число степеней свободы вычисляли по формуле

$$k = n - 1.$$

При доверительной вероятности $P = 0,9$ и числе степеней свободы $k = 2$ коэффициент Стьюдента равен $t_{0,9,2} = 2,92$. Таким образом, используя формулу (2), получили доверительный интервал случайной составляющей погрешности. Однако кроме случайной составляющей на результат измерений влияет также и инструментальная погрешность, обусловленная неточностью

установления заданного расхода воды на шкале регулятора. Оценить инструментальную погрешность можно, используя метки (риски), нанесенные на боковой цилиндрической поверхности шкалы. Шкала имеет 61 деление ($m = 61$), выполненное в виде рисок. Принимаем, что инструментальная погрешность θ_x , м³/с, составляет одно деление, то есть 1/61 значения полной шкалы, тогда

$$\theta_x = \frac{Q_{\max}}{m},$$

где $Q_{\max}$ – объемный расход воды, м³/с.

При $Q_{\max} = 1,03 \cdot 10^{-3}$ м³/с и $m = 61$ инструментальная погрешность $\theta_x = 0,0168 \cdot 10^{-3}$ м³/с.

Полную абсолютную погрешность с учетом случайной и инструментальной составляющих определяем по формуле

$$\Delta \bar{x} = \sqrt{\Delta x^2 + \theta_x^2}.$$

Результаты расчета абсолютной погрешности регулятора расхода воды представлены в табл. 2.

Таблица 2

Абсолютная погрешность регулятора расхода воды

Показания шкалы, м ³ /с	Среднеквадратичное отклонение среднего расхода воды, м ³ /с, при давлении		Доверительный интервал, м ³ /с, случайной составляющей при давлении		Абсолютная погрешность расхода воды, м ³ /с, при давлении	
	0,6 МПа	0,8 МПа	0,6 МПа	0,8 МПа	0,6 МПа	0,8 МПа
$0,55 \cdot 10^{-3}$	$0,01 \cdot 10^{-3}$	$0,01 \cdot 10^{-3}$	$0,03 \cdot 10^{-3}$	$0,03 \cdot 10^{-3}$	$0,04 \cdot 10^{-3}$	$0,04 \cdot 10^{-3}$
$0,75 \cdot 10^{-3}$	$0,01 \cdot 10^{-3}$	$0,01 \cdot 10^{-3}$	$0,03 \cdot 10^{-3}$	$0,03 \cdot 10^{-3}$	$0,04 \cdot 10^{-3}$	$0,04 \cdot 10^{-3}$
$0,87 \cdot 10^{-3}$	$0,03 \cdot 10^{-3}$	$0,01 \cdot 10^{-3}$	$0,09 \cdot 10^{-3}$	$0,03 \cdot 10^{-3}$	$0,12 \cdot 10^{-3}$	$0,04 \cdot 10^{-3}$
$1,03 \cdot 10^{-3}$	$0,01 \cdot 10^{-3}$	$0,01 \cdot 10^{-3}$	$0,03 \cdot 10^{-3}$	$0,03 \cdot 10^{-3}$	$0,04 \cdot 10^{-3}$	$0,04 \cdot 10^{-3}$

Относительную погрешность вычисляли по формуле

$$\delta = \frac{\Delta \bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100 \text{ \%}.$$

Результаты вычисления относительной погрешности расхода воды представлены в табл. 3.

Таблица 3

Относительная погрешность расхода воды

Давление, МПа	Относительная погрешность измерений расхода воды, %, при положениях шкалы			
	$0,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$	$0,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$	$0,87 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$	$1,03 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$
0,6	7,1	5,3	13,8	3,9
0,8	6,9	5,0	4,5	3,9

Из табл. 3 видно, что наибольшая относительная погрешность измерения расхода воды при давлении 0,8 МПа меньше 7 %. Близкий к этому результат (7,1 %) получен при давлении 0,6 МПа. Исключение составляет относительная погрешность 13,8 %, полученная при давлении 0,6 МПа при положении шкалы регулятора расхода воды, соответствующем $0,87 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. Относительные погрешности больше 10 % называют оценкой погрешности. Погрешность 13,8 % не соответствует ряду погрешностей при давлениях 0,6 МПа и 0,8 МПа, что свидетельствует о грубом влиянии случайной или инструментальной составляющей погрешности на полную погрешность, например, при сбое показаний шкалы или при небрежной ее установке. Однако в целом погрешность регулирования расхода воды удовлетворяет требованиям, а максимальное значение ее составляет около 7 %.

Выводы.

1. Полученные числовые значения абсолютной и относительной погрешностей регулирования расхода воды учитывают влияние случайной и инструментальной погрешностей. Установлено, что в диапазоне давлений 0,6...0,8 МПа максимальная относительная погрешность составляет около 7 %, что значительно меньше, чем в существующих смесительно-нагнетательных установках.

2. Повышенная точность регулирования расхода воды обеспечивает стабильность водовяжущего отношения при приготовлении гипсового раствора и, следовательно, механическую прочность взрывоустойчивой перемычки.

Список литературы / References

1. Агеев, В. Г. Пути совершенствования оборудования для изоляции участков при пожарах в шахтах / В. Г. Агеев, Г. И. Пештибай // Научный вестник УкрНИИПБ. – 2012. – № 1(25). – С. 60 – 67.

Ageyev V. G., Peshibay G. I. *Puti sovershenstvovaniya oborudovaniya dlya izolyatsii uchastkov pri pozharakh v shakhtakh* [Ways of improvement of equipment for isolation of areas during fires in mines]. *Nauchnyy vestnik UkrNIIPB*, 2012, no. 1(25), pp. 60-67. (In Russian)

2. Пашковский, П. С. Повышение эффективности возведения взрывоустойчивых перемычек гидромеханическим способом в горных

выработках шахт / П. С. Пашковский, Г. И. Пештибай, Н. А. Галухин // Вестник Академии гражданской защиты : научный журнал. – Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2019. – Вып. 2(18). – С. 78 – 86.

Pashkovskiy P. S., Peshtibay G. I., Galukhin N. A. *Povysheniye effektivnosti vozvedeniya vzryvoustoychivyykh peremychek gidromekhanicheskim sposobom v gornyykh vyrabotkakh shakht* [Enhancement of efficiency of construction of the blast-resistant stoppings by hydro-mechanical method in mine workings of mines]. *Vestnik Akademii grazhdanskoy zashchity : nauchnyy zhurnal*. Donetsk, GOUVPO "Akademiya grazhdanskoy zashchity" MChS DNR Press, 2019, issue 2(18), pp. 78-86. (In Russian)

3. Дозирующее устройство для подачи воды в смесительно-нагнетательную установку / В. Г. Агеев, Г. И. Пештибай, Н. А. Галухин, А. В. Еремин // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : научно-технический журнал. – Донецк, 2019. – № 1(56). – С. 7 – 16.

Ageyev V. G., Peshtibay G. I., Galukhin N. A., Yeryomin A. V. *Doziruyushcheye ustroystvo dlya podachi vody v smesitelno-nagnetatelnuyu ustanovku* [A metering device for water feed into mixing-force installation]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator" : nauchno-tekhnicheskiy zhurnal*. Donetsk, 2019, no. 1(56), pp. 7-16. (In Russian)

4. Ефимова, А. И. Общий физический практикум физического факультета МГУ. Погрешности эксперимента / А. И. Ефимова, А. В. Зотеев, А. А. Склянкин. – М. : Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 2012. – 39 с.

Yefimova A. I., Zoteyev A. V., Sklyankin A. A. *Obshchiy fizicheskiy praktikum fizicheskogo fakulteta MGU. Pogreshnosti eksperimenta* [General practical course of physics of the MGU Physics faculty. Experiment errors]. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy universitet imeni M.V. Lomonosova Press, 2012, 39 p. (In Russian)

5. Классификация погрешностей. URL: https://info.metrologu.ru/spravochnik/metrologiya/izmereniya/klassifikaciya_pogreshnostey_izmereniy.html (дата обращения: 24.12.2021).

Klassifikatsiya pogreshnostey [Classification of errors]. Available at: https://info.metrologu.ru/spravochnik/metrologiya/izmereniya/klassifikaciya_pogreshnostey_izmereniy.html (accessed: 24.12.2021). (In Russian)

6. Морозов, В. В. Методы обработки результатов физического эксперимента / В. В. Морозов, Б. Е. Соболевский, И. Л. Шейнман. – СПб. : СПбГЭТУ : ЛЭТИ, 2004. – 64 с.

Morozov V. V., Sobotkovskiy B. E., Sheynman I. L. *Metody obrabotki rezultatov fizicheskogo eksperimenta* [Methods of processing the results of physical experiment]. Saint-Petersburg, SPbGETU : LETI Press, 2004, 64 p. (In Russian)

Georgy Ivanovich Peftibay, head of department; e-mail: niigd.osmas-1@mail.ru;
Nikolay Aleksandrovich Galukhin, senior scientific associate; e-mail: niigd.osmas-7@mail.ru;
Anton Vitalyevich Yeryomin, design engineer of the 1st category; e-mail: a.v.eremin18@gmail.com
State Budgetary Establishment "The Scientific Research Institute "Respirator"
of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence,
Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters"
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-36

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF ERROR OF WATER FLOW RATE REGULATOR FOR MIXING-PUMPING INSTALLATIONS

Purpose. To investigate experimentally absolute and relative errors of the water flow rate regulator for providing the stable and controlled water delivery into the mixing-pumping installations.

Methods. Experimental ones for determining of the water flow rate in the event of changes in pressure; statistical methods of processing the experimental data.

Results. The numerical values have been obtained for the absolute and relative errors of the water flow rate regulation. It has been demonstrated that the relative error of the water flow rate is less significant than in the existing mixing-pumping installations.

Scientific novelty. The novel water flow rate regulator with less than 7 % of the regulation error for the mixing-pumping installations has been developed.

Practical value. The water flow rate regulator has been developed for ensuring the stable and controlled water delivery into the mixing-pumping installation in the automatic mode without any personnel assistance. The precise water regulation in preparation of a hardening mix makes it possible to stabilize the maintenance of the water-binding ratio for improvement of the mechanical strength of the stopping.

Keywords: *regulator; water flow rate; absolute error; relative error; mixing-pumping installation.*

УДК [622.831.322:622.411.33]:[681.122:53.082.3]

*Эдуард Вадимович Борисенко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., зав. отд.;
e-mail: ehd1207@yandex.ru;*

Юрий Алексеевич Службин, канд. техн. наук; e-mail: ehd1207@yandex.ru;

Сергей Иванович Бударецкий, инженер 1-й кат.; e-mail: efir-s@ukr.net;

Игорь Алексеевич Чернышев, механик; e-mail: ehd1207@yandex.ru

*Государственное бюджетное учреждение «Институт физики горных процессов»
283114, Донецк, ул. Розы Люксембург, д. 72. Тел.: (+7 856) 311-69-33*

ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ МЕТАНА

Цель. Описать принципиально новую схему прибора измерения скорости газовыделения метана из шпура, пробуренного в угольный массив, на основе анализа устройств по измерению скорости потока газа в шахтных условиях и сопутствующих параметров.

Методы. Аналитический и теоретический методы исследования, а также метод создания новых устройств путем агрегатирования и унификации.

Результаты. С учетом закономерностей потока газа разработан прибор по измерению скорости газовыделения метана, основанный на преобразовании объема газа, прошедшего через измеритель, в пропорциональное количество электрических импульсов, фиксирующихся в его памяти, с помощью струйного автогенератора колебаний.

Научная новизна. Предложен прибор по определению скорости, температуры и объема газовыделения метана из шпура, пробуренного в угольный массив, обеспечивающий высокую точность и скорость измерения, а также возможность последующего контроля газовыделения.

Практическая значимость. Новый прибор может заменить морально и физически устаревший прибор ПГ-2МА, который не соответствует параметрам информатизации и точности измерения; он позволяет быстро визуально считывать информацию, выполнять запись информации в реальном времени, выполнять дальнейшую обработку данных, удобен в эксплуатации, имеет небольшой вес и габаритные размеры.

Ключевые слова: *скорость; объем; газовыделение; метан; автогенератор колебаний; угольный массив.*

Постановка проблемы. При проведении научных исследований и экспериментов по измерению пластового давления метана (процесс газовыделения из шпура, пробуренного в угольном пласте) возникает необходимость в быстром и точном определении содержания метана в угле непосредственно в выработке, а не в лабораторных условиях. Учитывая высокую газо- и выбросоопасность при разработке угольных пластов Донецкого бассейна и связанную с этим высокую степень опасности для шахтеров, одна из первоочередных задач – прогнозирование выбросов угля и газа. Также не подлежит сомнению необходимость своевременной оценки опасности внезапных выбросов. Несмотря на большое количество используемых в настоящее время эмпирических методов оценки и прогноза газо- и выбросоопасности, единые универсальные способы прогноза и контроля до сих пор не разработаны.

Анализ последних исследований и публикаций. В Донецком бассейне прогноз выбросоопасности пластов в местах вскрытия осуществляют по скорости газовыделения g (л/мин), йодному показателю ΔJ (мг/г) и коэффициенту крепости угля f [1]. Ситуацию перед вскрытием оценивают как невыбросоопасную при одновременном выполнении трех условий:

$$\begin{aligned} g &\leq 2; \\ \Delta J &\leq 3,5; \\ f &\geq 0,6. \end{aligned}$$

Если хотя бы один из трех показателей не соответствует указанному условию, ситуацию считают опасной и вскрытие пласта осуществляют с учетом прогноза «опасно».

В настоящее время для прогноза внезапных выбросов по начальной скорости газовыделения пласта используют прибор ПГ-2МА [2], который был разработан в 70-х годах прошлого столетия. Он представляет собой дроссельный расходомер, действующий по принципу реометра. Основой прибора является измерительное устройство УС-450, предназначенное для измерения скорости самолета. Прибор имеет три диапазона измерения, которые выбирают с помощью сменных стеклянных сопел разного диаметра. Данный прибор не дает непосредственных значений начальной скорости газовыделения; для получения этого параметра используют таблицу перевода, но ее применение вносит дополнительные погрешности и снижает достоверность получаемых результатов. К тому же для определения начальной скорости газовыделения метана из шпура в комплекте с указанным устройством необходимо иметь газовый затвор ЗГ-1, без которого определение указанного параметра невозможно. Масса комплекта составляет более 2 кг.

К недостаткам прибора ПГ-2МА можно отнести сложность конструкции, так как она состоит, по сути, из двух приборов, включающих несколько штуцеров, индивидуальных капилляров, колпачков, трубок. Это ведет к большим затратам времени для определения начальной скорости газовыделения угольного пласта, и не всегда можно получить достоверный результат ввиду ограниченного времени измерения. К достоинствам данного прибора можно отнести автономную работу.

Цель исследования – описать принципиально новую схему прибора измерения скорости газовыделения метана из шпура, пробуренного в угольный массив, на основе анализа устройств по измерению скорости потока газа в шахтных условиях и сопутствующих параметров.

Перед сотрудниками ГБУ «ИФГП» была поставлена задача по созданию измерительного прибора, удовлетворяющего необходимым требованиям: уменьшение времени подготовки прибора к работе, измерение дополнительных параметров в ходе замера, увеличение точности, запись и возможность дальнейшей обработки данных.

Материалы и результаты исследований. Принцип действия разработанного измерителя основан на преобразовании объема газа, прошедшего через измеритель, в пропорциональное количество электрических импульсов с помощью струйного автогенератора колебаний (рис. 1) [3, 4].

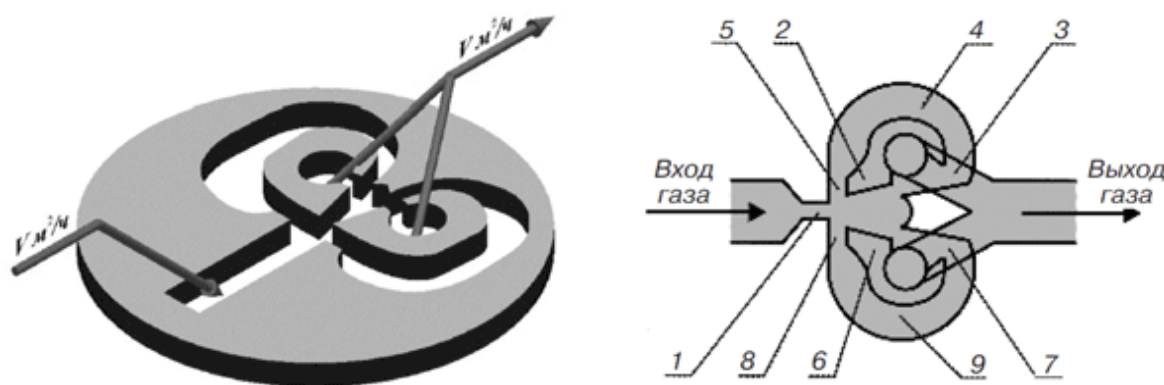


Рис. 1. Струйный автогенератор (САГ):

1 – входное сопло; 2, 6 – рабочая камера; 3, 7 – приемный канал;
4, 9 – канал обратной связи; 5, 8 – сопло управления

Струйный автогенератор представляет собой струйный бистабильный элемент, приемные каналы 3, 7 которого соединены каналами обратной связи 4, 9 с соплами управления 5, 8. Работа струйного автогенератора колебаний заключается в следующем. Струя вещества, вытекающая из сопла 1 в рабочую камеру, отклоняется к одной из стенок, например к стенке 2, и прижимается к ней давлением, которое создается потоком, отраженным вогнутым дефлектором, в область между струей и стенкой. Струя течет вдоль стенки 2 и попадает в приемный канал 3, в результате торможения потока давление в канале 3 повышается по сравнению с давлением в камере и канале 7. Это вызывает разгон среды в канале обратной связи 4. Через промежуток времени запаздывания τ_1 расход в сопле управления 5 достигает величины расхода переключения Q_{lim} , что приводит к отрыву струи от стенки 2 и ее перемещению к стенке 6. Струя достигает стенки 6, и через отрезок времени запаздывания в струйном элементе τ_2 в канале 7 повышается давление (при этом в канале 3 оно становится равным давлению в камере). Спустя промежуток времени τ_1 (время прохождения по каналу обратной связи 9) расход в сопле управления 8 достигает величины Q_{lim} в канале управления 8, и струя перемещается к стенке 2. Через отрезок времени τ_2 повысится давление в канале 3, и начнется новый период колебания, то есть возникают устойчивые автоколебания струи. Частота переключений пропорциональна расходу газа через сопло 1 струйного автогенератора.

Измеряется частота переключения струйного генератора, пропорциональная скорости (расходу) газа

$$Q = \mu S \sqrt{2\Delta P / \rho},$$

где Q – измеряемый расход, л/мин;

μ – коэффициент расхода;

S – площадь поперечного сечения, см²;

ΔP – перепад давления, Па;

ρ – плотность измеряемой среды, г/см³.

Струйные расходомеры имеют ряд преимуществ, прежде всего отсутствие подвижных частей, относительная простота конструкции, нечувствительность к пневмоударам.

Разработан электронный расходомер газа (рис. 2) для измерения интенсивности выделения метана при бурении шпуров в забоях угольных шахт. Принцип действия прибора основан на преобразовании объема газа, прошедшего через него, в пропорциональное количество электрических импульсов с помощью струйного генератора колебаний с последующим вычислением скорости прохождения газа (л/мин) и его объема на электронном блоке измерения. Результат измерения объема и расхода в электронном блоке корректируют по температуре по следующему алгоритму:

$$V_c = V_i \cdot 293,15 / (t + 273,15),$$

где V_c – скорректированный объем газа, л;

V_i – объем газа, прошедшего через счетчик, л;

t – температура газа, измеренная встроенным датчиком температуры, С°.

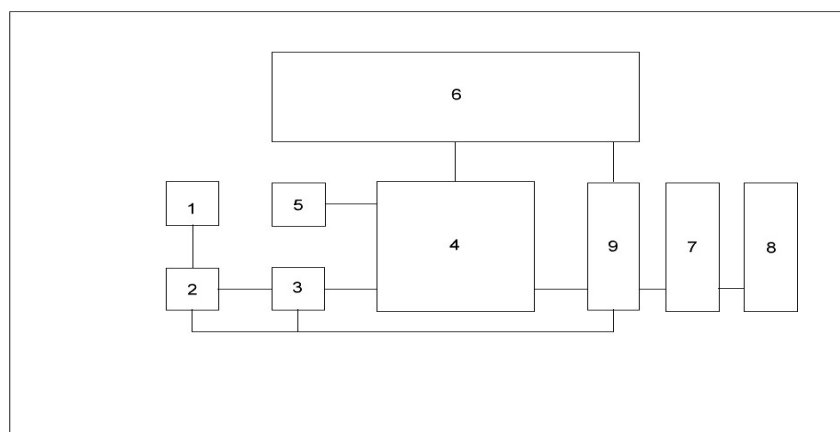


Рис. 2. Электронный блок измерителя прибора:

1 – пьезопреобразователь; 2 – усилитель; 3 – компаратор; 4 – процессор;
5 – внешняя память; 6 – дисплей; 7 – источник питания; 8 – зарядное устройство;
9 – стабилизатор напряжения

Работоспособность обеспечивается встроенным программным обеспечением. Разработанный прибор выполняет следующие функции:

- диапазон измерения скорости прохождения газа от 0,5 до 25 л/мин;
- точность измерения 0,1 л/мин;
- запись показаний во встроенную память с шагом 5 следующих данных: текущее время, скорость прохождения газа, суммарный объем газа, температура, с последующим считыванием;
- фиксация времени начала бурения шпура;
- фиксация времени начала и окончания замера (объем памяти позволяет сделать 12 замеров по 15 мин);
- настройка критического значения скорости прохождения газа в диапазоне 4...6 л/мин;
- при достижении критического значения скорости прохождения газа подает звуковой и световой сигналы с фиксацией на дисплее времени и уровня достижения максимального значения.

На дисплее отображается следующая информация (рис. 3):

- текущее время и температура проходящего газа;
- текущий расход Q , л/мин;
- максимальный расход $Q_{\max}$ с фиксированным временем достижения, л/мин;
- максимальный объем прошедшего газа V .

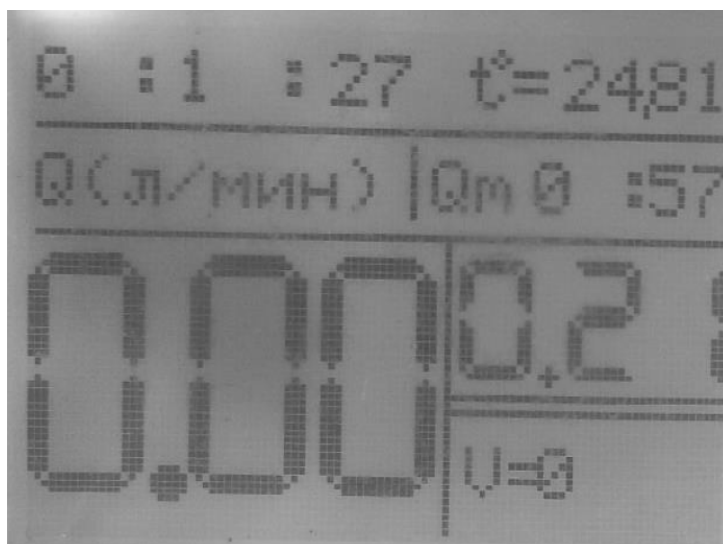


Рис. 3. Дисплей прибора

Варианты исполнения корпуса и дисплея можно доработать в зависимости от условий эксплуатации.

Вывод. В результате научных исследований разработано новое устройство, позволяющее заменить устаревший прибор ПГ-2МА. Оно быстрее выполняет визуальное считывание информации о потоке газа, его скорости и температуре;

записывает информацию в режиме реального времени; позволяет провести дальнейшую обработку данных; удобно в эксплуатации; имеет небольшой вес и габаритные размеры.

В дальнейшем возможна модернизация прибора с целью повышения точности измерений, улучшения помехоустойчивости, увеличения автономности работы, а также увеличения объема записываемой информации.

Список литературы / References

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа (РД 05-350-00) // Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах : сборник документов. Серия 05. Вып. 2 / колл. авт. – 4-е изд., испр. – М. : Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2011. – 304 с.

Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh rabot na plastakh, opasnykh po vnezapnym vybrosam uglya (porody) i gaza (RD 05-350-00) [Regulations on safety of mining works on seams prone to sudden outbursts of coal (rock) and gas]. *Preduprezhdenie gazodinamicheskikh yavlenij v ugolnykh shakhtakh: sbornik dokumentov*, series 05, issue 2 / Collective of authors. The 4th revised edition. Moscow, Zakrytoye aktsionernoye obshchestvo “Nauchno-tekhnicheskij centr issledovaniy problem promyshlennoy bezopasnosti” Publ., 2011, 304 p. (In Russian)

2. Ольховиченко, А. Е. Прогноз выбороопасности угольных пластов / А. Е. Ольховиченко. – М. : Недра, 1982. – 278 с.

Olkhovichenko A. Ye. *Prognoz vybrosoopasnosti ugolnykh plastov* [Prediction of coal seams prone to outbursts]. Moscow, Nedra Publ., 1982, 278 p. (In Russian)

3. Золотаревский, С. А. О применении струйного автогенераторного метода измерения в бытовых счетчиках газа и поверочных установках / С. А. Золотаревский, О. Г. Гущин // Ежегодный сборник научно-технических статей, выпускаемый ООО «ЭЛЬСТЕР Газэлектроника». – 2012. – URL: <https://packo.ru/publikatsii/o-primenenii-struynogo-avtogeneratornogo-metoda-izmereniya-v-byitovyih-schetchikah-gaza-i-poverochnyih-ustanovkah?ysclid=l6yuboc5kq900742433> (дата обращения: 18.08.2022).

Zolotarevskiy, S. A., Gushchin O. G. *O primenenii struynogo avtogeneratornogo metoda izmereniya v byitovykh schetchikakh gaza i poverochnykh ustanovkakh* [On application of jet auto-generator method of measurement in domestic gas meters and calibration rigs]. *Yezhegodnyy sbornik nauchno-tekhnicheskikh statey, vypuskaemyy ООО “ELSTER Gazelektronika”*, 2012. Available at: <https://packo.ru/publikatsii/o-primenenii-struynogo-avtogeneratornogo-metoda-izmereniya-v-byitovyih-schetchikah-gaza-i-poverochnyih-ustanovkah?ysclid=l6yuboc5kq900742433> (accessed 18.08.2022). (In Russian)

4. Золотаревский, С. А. О применимости различных методов измерения расхода для коммерческого учета газа / С. А. Золотаревский // Энергосбережение : специализированный журнал / АВОК. – Москва, 2010. – № 4. – С. 54 – 57.

Zolotarevskiy S. A. *O primenimosti razlichnykh metodov izmereniya raskhoda dlya kommercheskogo ucheta gaza* [On applicability of different methods of measurement of consumption for fiscal gas metering]. *Energoberezhniye: spetsializirovanny zhurnal / AVOK*. Moscow, 2010, no. 4, pp. 54-57. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 02.09.2022

Eduard Vadimovich Borisenko, Cand. Sci. (Tech.), senior scientific associate, head of department;
e-mail: ehd1207@yandex.ru;

Yury Alekseyevich Sluzhbin, Cand. Sci. (Tech.); e-mail: ehd1207@yandex.ru;

Sergey Ivanovich Budaretskiy, engineer of the 1st category; e-mail: efir-s@ukr.net;

Igor Alekseyevich Chernyshev, serviceman; e-mail: ehd1207@yandex.ru

State Budgetary Establishment "Institute of Physics of Mining Processes"

283114, Donetsk, 72, ulitsa Rozy Luxemburg. Phone: (+7 856) 311-69-33

DIGITAL METHANE EMISSION RATE METER

Purpose. To describe a principally new circuit of the device for control of methane emission rate from a borehole drilled in coal massif on the basis of analysis of the devices for measuring the rate of gas flow in mine conditions and contributory parameters.

Methods. Analytical and theoretical methods of investigation as well as a building-block and unification method for creation of new devices.

Results. Taking into account the regularities of gas flow the device for measuring the methane emission rate has been developed based on the conversion of the gas volume passed through the meter into the proportional quantity of electric impulses fixed in its memory applying the self-contained jet oscillation generator.

Scientific novelty. The device for measuring the rate, temperature and volume of methane emission from the borehole drilled into the coal massif has been proposed providing the high accuracy and speed of measurement as well as the opportunity for the consecutive monitoring of gas emission.

Practical value. The new device may replace morally and physically obsolete the ПП-2МА one which does not comply with parameters of information technology development and measurement accuracy; it permits to read the information visually fast, to record information in real time, to conduct further processing of data, it is convenient in service, light-weighted and compact.

Keywords: rate; volume; gas emission; methane; self-contained jet oscillation generator; coal massif.

УДК 614.8"363"

Михаил Сергеевич Хацько, нач. каф.; e-mail: kursantaczu@bk.ru

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Академия гражданской защиты» МЧС ДНР

283050, Донецк, ул. Розы Люксембург, 34а. Тел.: (+38 062) 304-13-09

ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ РИСКА АВАРИЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Цель. Определить влияние профессионально-производственных факторов риска аварий на комплексную оценку управленческих действий спасателей для разработки системы поддержки принятия решений при чрезвычайных ситуациях.

Методы. Информационно-аналитические исследования профессионально-производственных факторов риска аварий.

Результаты. Классифицированы основные профессионально-производственные факторы риска при ведении аварийно-спасательных работ на промышленных объектах.

Научная новизна. На основе системного анализа профессионально-производственных факторов риска при ликвидации аварий на промышленных предприятиях разработаны предложения по поддержке управленческих решений и принятию мер по ликвидации последствий.

Практическая значимость. Определена существенная роль профессионально-производственных факторов риска при принятии управленческих решений при чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: профессионально-производственный фактор; риск; аварийно-спасательные работы; безопасность; чрезвычайные ситуации; промышленные предприятия.

Постановка проблемы. За последнее десятилетие во всем мире наблюдается тенденция роста количества техногенных катастроф, а по прогнозам специалистов в ближайшем будущем ожидается пик числа аварий и пожаров. На территории Донецкой Народной Республики сохраняется высокий уровень угрозы чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) техногенного характера, вследствие чего население проживает в условиях повышенного риска.

Наиболее значимые проблемы на сегодняшний день – организация управления спасательными подразделениями, особенно при ликвидации последствий крупномасштабных чрезвычайных ситуаций, и поддержка принятия управленческих решений.

Для достижения максимальной эффективности управления боевыми действиями пожарно-спасательных подразделений в условиях чрезвычайной ситуации необходимо принимать решения на основе информационных систем поддержки принятия решений при ликвидации аварий.

Разработка подобных систем поддержки связана с исследованием процессов возникновения и развития ЧС на промышленных предприятиях до введения сил и средств для их локализации, моделированием процесса оперативного управления на основе системного анализа причинно-следственных связей при выборе принятия решений.

При этом необходимо учитывать информационное обеспечение (в том числе автоматизированную поддержку), профессиональную подготовку и навыки спасателей при работе в условиях высоких тепловых нагрузок, экономическую эффективность принятия решений и другие факторы риска при реализации мероприятий по предупреждению ЧС и ликвидации их последствий.

На территории Донецкой Народной Республики большое количество промышленных предприятий представляют высокую опасность. Ликвидация аварий на подобных предприятиях сопряжена с угрозой жизни и здоровью спасателей и сопровождается экстремальными условиями, которые создают профессионально-производственные факторы риска.

В связи с этим возникает необходимость совершенствования существующих систем поддержки принятия решений при ликвидации аварий на производственных объектах с учетом влияния профессионально-производственных факторов риска аварий на комплексную оценку управленческих решений.

Анализ последних публикаций. Значительное количество работ посвящено профессиональному риску пожарных и спасателей. Однако исследования влияния профессионально-производственных факторов риска аварий на комплексную оценку управленческих решений при чрезвычайных ситуациях на промышленных объектах имеют общий характер.

Цель исследования – определить влияние профессионально-производственных факторов риска аварий на комплексную оценку управленческих действий спасателей для разработки системы поддержки принятия решений при чрезвычайных ситуациях.

Результаты исследований. Процесс принятия решений при ЧС весьма сложен и имеет определяющее значение при установлении характера функциональных задач управления, решаемых должностными лицами. Цель решения большинства задач – поддержка принятия информационно-аналитических решений по управлению силами и средствами МЧС ДНР. Специфический характер названных задач требует соответствующего информационного обеспечения.

Принятие управленческих решений – информационный процесс, его этапы сопряжены с поиском необходимых данных, их обработкой и анализом. Таким образом, база данных систем поддержки принятия решений должна включать в себя количественные и качественные характеристики рассматриваемого объекта.

При анализе особенностей возникновения и развития техногенных ЧС, а также условий воспламенения и процессов горения веществ и материалов установлено, что при проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ спасатели подвергаются различным факторам риска, которые необходимо учитывать при принятии управленческих решений [1]:

- физические факторы;
- химические факторы;
- биологические факторы;
- психофизиологические факторы.

Профессионально-производственные риски спасателей – это профессионально-функциональная деятельность в неопределенно опасных условиях, направленная на принятие ответственного решения по определению способа действий для достижения цели и получения запланированного результата [2].

В работе [3] рассмотрена система на основе разработки карт рисков.

Так, риск P рассматривается как количественная характеристика опасности, которая выражается в частотной реализации опасностей:

$$P = \frac{n}{N}, \quad (1)$$

где n – число случаев проявления опасностей;

N – возможное число случаев проявления опасностей.

Возникновение профессионально-производственных рисков обусловлено проведением аварийно-спасательных и других неотложных работ в зоне воздействия опасных производственных факторов. В связи с особенностями работы аварийно-спасательных формирований данные условия неизбежны.

Рассмотрим природу возникновения профессионально-производственных рисков на примере некоторых промышленных объектов, характерных для территории Донецкой Народной Республики:

- подземные горные работы: замкнутое пространство, возможные обрушения горных пород, взрывы метановоздушной смеси, угольной пыли, возникновение эндогенных и экзогенных пожаров, запыленность, вибрация, шум, вредное влияние взрывных работ, горные удары, прорывы воды и пульпы в подземные выработки, падение в вертикальные и наклонные выработки, воздействие машин и механизмов, поражение электротоком;

- открытые горные работы: возможные обрушения пород уступов, оползни, запыленность, шум, вибрация, воздействие машин и механизмов, вредное влияние взрывных работ, поражение электротоком;

- работы по производству металлопродукции: запыленность, шум, вибрация, воздействие машин и механизмов, поражение электротоком [4].

Оценка профессионально-производственных рисков основана на установлении:

- производственных опасностей;
- вероятности их возникновения;
- последствий их возникновения;
- категории (степени) риска.

Таким образом, можно выделить следующие этапы:

- Идентификация опасностей, характерных для промышленного объекта.

На данном этапе устанавливается перечень опасных профессионально-

производственных факторов, сведения о которых вносятся в соответствующий реестр.

- Установление категории риска в соответствии с классификаторами.
- Оценка риска возникновения опасности и продолжительности ее действия, что позволит разработать соответствующие предупредительные мероприятия.
- Установление категории тяжести последствий (ущерба).
- Определение степени риска на основе данных, полученных на предыдущих этапах.
- Разработка мероприятий, направленных на снижение, локализацию или исключение возможности возникновения рисков.
- Оценка степени остаточного риска, информирование персонала о мерах безопасности.

Риски характеризуются следующими свойствами: вероятность; тяжесть последствий; степень допустимости; подверженность.

Вероятность возникновения рисков рассматривают в виде матрицы:

- очень высокая;
- высокая;
- средняя;
- низкая;
- очень низкая.

Степень тяжести последствий рисков оценивают по аналогичной матрице:

- катастрофические;
- тяжелые;
- незначительные;
- минимальные.

Управление рисками базируется на разработке карт рисков, на основании которых разрабатывают корректирующие мероприятия для снижения рисков до минимального уровня. Их эффективность определяют путем сравнения критериев рисков до и после внедрения данных мероприятий.

Профессионально-производственные факторы риска при ведении аварийно-спасательных и других неотложных работ значительно превышают нормативные условия. В профессиональной деятельности аварийно-спасательных формирований выделяют индивидуальные и коллективные риски.

Следует отметить, что в рамках проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ спасатели могут выбирать разные варианты действий, тем самым коррелируя степень риска [2].

Оценки рисков – неотъемлемая часть управления ими [5 – 9]. В работе [10] также рассмотрен метод оценки профессиональных рисков при помощи матрицы.

Оценку частоты и последствий возникновения рисков проводят с учетом данных о несчастных случаях и происшествиях. Возможные опасности заносят в соответствующий реестр вместе с должностями личного состава и данными, полученными в результате проведения оценки рисков.

Оценку мер управления рисками осуществляют по следующим значениям: оценка «1» – применены адекватные меры управления рисками, профессионально-производственный риск полностью контролируется;

оценка «2» – меры управления не охватывают всех возможных сценариев возникновения рисков, профессионально-производственный риск контролируется слабо;

оценка «3» – меры управления не применялись, профессионально-производственный риск неконтролируемый.

Таким образом, результатами оценки рисков будут следующие заключения:

- риск неприемлем и требует разработки и реализации мер по управлению профессионально-производственным риском;
- риск допустим, но требуется постоянный мониторинг уровня профессионально-производственного риска;
- риск приемлем, дополнительные меры управления не требуются.

Рассмотрим мероприятия, направленные на снижение уровней профессионально-производственных рисков при выполнении аварийно-спасательных и других неотложных работ:

1) биологического характера:

- применение средств индивидуальной защиты;
- своевременное оказание медицинской помощи;
- мероприятия по обеззараживанию ручного инструмента;

2) трудности, связанные с интенсивностью трудовой деятельности:

- рационализация соотношения рабочего времени и отдыха;
- организация трудовых перерывов;
- рациональное распределения физических нагрузок;
- отслеживание психологической нагрузки личного состава;

3) механическое воздействие фрагментов конструкций объектов, которые подверглись разрушению:

- перемещение по безопасным маршрутам;
- соответствие оперативных мероприятий мерам безопасности, характерным для промышленного объекта;
- своевременное выведение спасателей из зон с нестабильными конструктивными элементами;

- использование предупреждающих знаков;

4) травмы от колющего воздействия предметов:

- применение спецодежды, на которой отсутствуют механические повреждения;
- применение обуви со вставками для защиты от механического воздействия;
- применение краг;

5) обрушение конструктивных элементов:

- контроль состояния строительных конструкций;
- обеспечение личного состава средствами коллективной и индивидуальной защиты;
- распределение личного состава в безопасных зонах;
- мероприятия по поддержанию устойчивости конструктивных элементов;

- б) опасная концентрация в атмосфере дыма, паров газов и пыли:
 - применение средств индивидуальной защиты органов дыхания;
- 7) травмирование режущим инструментом:
 - эксплуатация инструмента в соответствии с руководством;
 - соблюдение техники безопасности при эксплуатации режущего инструмента;
- 8) падение из-за потери равновесия:
 - использование безопасных маршрутов передвижения;
 - проявление осторожности при перемещении объектов, ограничивающих общий обзор пути;
 - ограждение опасных зон;
 - применение специальной нескользящей обуви;
- 9) падение с высоты:
 - применение подъемников и подвесных люлек;
 - применение средств коллективной и индивидуальной защиты;
- 10) раздавливание:
 - эксплуатация машин и механизмов согласно требованиям технической документации;
 - применение защитных ограждений;
 - соблюдение инструкций по технике безопасности.

Вывод. Необходимо комплексное обоснование закономерностей влияния профессионально-производственных факторов риска аварий на комплексную оценку управленческих действий спасателей для разработки системы поддержки принятия решений при чрезвычайных ситуациях на промышленных объектах и реализации мер по предупреждению и ликвидации последствий.

Следует организовать целенаправленные научно-поисковые работы по проблеме профессионально-производственного фактора в сфере принятия управленческих решений. На первом этапе необходимо выявление характерных рисков, возникающих на промышленных предприятиях. На втором этапе необходимо разработать основные требования к системам поддержки принятия решений, а на их базе – методические принципы создания системы поддержки принятия решений.

Список литературы / References

1. Матюшин, А. В. Оценка профессионального риска заболеваемости и гибели пожарных / А. В. Матюшин, А. А. Порошин, Е. В. Бобринев // Пожарная безопасность. – 2005. – № 6. – С. 68 – 74.

Matyushin A. V., Poroshin A. A., Bobrinev Ye. V. *Otsenka professionalnogo riska zaboilevayemosti i gibeli pozharnykh* [Assessment of firefighters' occupational morbidity and fatality risk]. *Pozharnaya bezopasnost*, 2005, no. 6, pp. 68-74. (In Russian)

2. Сергунина, М. В. Профессиональные риски пожарных / М. В. Сергунина, О. Ю. Шепелев // Культура, личность, общество в современном мире: методология, опыт эмпирического исследования. – Ч. 4. – Екатеринбург, 2011. – Т. 4. – № 14. – С. 296 – 301.

Sergunina M. V., Shepelev O. Yu. *Professionalnye riski pozharnykh* [Firefighters' occupational risks]. *Kultura, lichnost, obshchestvo v sovremennom mire : metodologiya, opyt empiricheskogo issledovaniya. Ch. 4.* Yekaterinburg, 2011, vol. 4, no. 14, pp. 296-301. (In Russian)

3. Обрядин, В. В. Оценка и идентификация опасностей, рисков и процедура управления ими в условиях предприятий, эксплуатирующих опасные производственные объекты / В. В. Обрядин, В. В. Мячин // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – Новокузнецк, 2015. – № 2. – С. 96 – 99.

Obryadin V. V., Myachin V. V. *Otsenka i identifikatsiya opasnostey, riskov i protsedura upravleniya imi v usloviyakh predpriyatiy, ekspluatiruyushchikh opasnye proizvodstvennye obyekty* [Assessment and identification of hazards, risks and procedure of managing them in conditions of enterprises dealing with hazardous industrial facilities]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrialnogo universiteta.* Novokuznetsk, 2015, no. 2, pp. 96-99. (In Russian)

4. Пучков, Л. А. Системные решения обеспечения метанобезопасности угольных шахт / Л. А. Пучков, Н. О. Каледина, С. С. Кобылкин // Горный журнал. – М., 2014. – № 5. – С. 12 – 16.

Puchkov L. A., Kaledina N. O., Kobylkin S. S. *Sistemnye resheniya obespecheniya metanobezopasnosti ugolnykh shakht* [Comprehensive solutions on provision of methane safety of coal mines]. *Gornyy zhurnal.* Moscow, 2014, no. 5, pp. 12-16. (In Russian)

5. Карпова, В. В. Сравнительный анализ систем идентификации опасностей и оценки рисков / В. В. Карпова, Э. Р. Хасанова // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2011. – № 2. – С. 52 – 56.

Karpova V. V., Khasanova E. R. *Sravnitelnyy analiz system identifikatsii opasnostey i otsenki riskov* [Comparative analysis of systems of hazard identification and risk assessment]. *Upravleniye kachestvom v neftegazovom komplekse,* 2011, no. 2, pp. 52-56. (In Russian)

6. Гарайшина, З. Г. Идентификация опасностей, анализ и оценка рисков в нефтехимии / З. Г. Гарайшина // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 5. – С. 228 – 231.

Garayshina Z. G. *Identifikatsiya opasnostey, analiz i otsenka riskov v neftekhimii* [Identification of hazards, analysis and assessment of risks in petrochemistry]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta,* 2014, vol. 17, no. 5, pp. 228-231. (In Russian)

7. Гера, В. И. Рекомендации по идентификации опасности при анализе риска эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры / В. И. Гера, А. А. Архипов // Труды военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. – 2014. – № 643. – С. 84 – 87.

Gera V. I., Arkhipov A. A. *Rekomendatsii po identifikatsii opasnosti pri analize riska ekspluatatsii obyektov nazemnoy kosmicheskoy infrastruktury* [Recommendations on hazard identification during risk assessment of operating ground-based space infrastructure facilities]. *Trudy voenno-kosmicheskoy akademii imeni A. F. Mozhayskogo,* 2014, no. 643, pp. 84-87. (In Russian)

8. Харисов, Г. Х. Обоснование оптимального значения индивидуального пожарного риска в Российской Федерации / Г. Х. Харисов, А. В. Фирсов // Безопасность жизнедеятельности. – 2018. – № 7(211). – С. 36 – 42.

Kharisov G. Kh., Firsov A. V. *Obosnovaniye optimalnogo znacheniya individualnogo pozharnogo riska v Rossiyskoy Federatsii* [Substantiation of optimum value of stand-alone fire risk in the Russian Federation]. *Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti*, 2018, no. 7(211), pp. 36-42. (In Russian)

9. Фирсов, А. В. О нормативном значении индивидуального пожарного риска / А. В. Фирсов, Е. В. Крюков, Г. Х. Харисов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 9. – С. 14 – 16.

Firsov A. V., Kryukov Ye. V., Kharisov G. Kh. *O normativnom znachenii individualnogo pozharnogo riska* [On standard value of stand-alone fire risk]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 14-16. (In Russian)

10. Оценка профессиональных рисков личного состава МЧС России / В. В. Артюхин, М. А. Балер, О. А. Морозова, В. С. Путин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2021. – № 3. – С. 113 – 121.

Artyukhin V. V., Baler M. A., Morozova O. A., Putin V. S. *Otsenka professionalnykh riskov lichnogo sostava MChS Rossii* [EMERCOM of Russia personnel professional risk assessment]. *Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya*, 2021, no. 3, pp. 113-121. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 29.08.2022

Mikhail Sergeyevich Khatsko, head of chair; e-mail: kursantaczu@bk.ru
State Budget Educational Institution of Higher Education "The Civil Defence Academy
of the Ministry for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences
of Natural Disasters of the Donetsk People's Republic"
283050, Donetsk, 34a, ulitsa Rozy Luxemburg. Phone: (+38 062) 304-13-09

ASSESSMENT OF PROFESSIONAL AND OCCUPATIONAL RISK FACTORS OF ACCIDENTS AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

Purpose. To determine the influence of professional and occupational risk factors of accidents on the comprehensive assessment of the rescuers' management activities for elaborating the decision making support system in emergency situations.

Methods. Information and analytical investigations of the professional and occupational risk factors of the accidents.

Results. The main professional and occupational risk factors during conduction of the emergency rescue operations at the industrial facilities have been categorized.

Scientific novelty. On the basis of the comprehensive analysis of the professional and occupational risk factors during liquidation of the accidents at the industrial enterprises the proposals on management decisions support and applying measures on elimination of consequences have been developed.

Practical value. The substantial role of the professional and occupational risk factors in decision making during emergency situations has been determined.

Keywords: professional and occupational factor; risk; emergency rescue operations; safety; emergency situations; industrial enterprises.

III. Охрана труда и экологическая безопасность

УДК 622.867.324:658.567.1

Валерий Владимирович Мамаев, д-р техн. наук, первый заместитель директора (по научной работе); e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;

Любовь Алексеевна Зборщик, ст. науч. сотр.; e-mail: lzborschik@yandex.ru;

Руслан Сергеевич Плетенецкий, ст. науч. сотр.; e-mail: zoloto-russland@yandex.ru;

Виктор Иванович Францев, вед. инж.; e-mail: oszd_niigd_3@mail.ru

Государственное бюджетное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС ДНР»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: (+38 062) 332-78-45

РЕЦИКЛИНГ ШАХТНЫХ САМОСПАСАТЕЛЕЙ С ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫМ КИСЛОРОДОМ, НЕПРИГОДНЫХ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Цель. Исследование возможности рециклинга шахтных самоспасателей с химически связанным кислородом, непригодных для дальнейшей эксплуатации.

Методы. Экспериментальные и аналитические методы исследований обезвреживания шахтных самоспасателей.

Результаты. Выполнен анализ причин отбраковки изолирующих самоспасателей с химически связанным кислородом в период эксплуатации, изучены существующие пути обезвреживания аппаратов как токсичных отходов III класса опасности. Предложены новые способы утилизации шахтных самоспасателей, заключающиеся в превращении данных отходов во вторичное сырье после дополнительной технологической обработки.

Научная новизна. Предложен системный подход к утилизации шахтных изолирующих самоспасателей с химически связанным кислородом, непригодных к эксплуатации: разработан вариант рециклинга регенеративного кислородсодержащего продукта самоспасателей с использованием его в качестве умягчителя шахтных вод, сырья для производства мыла, жидких моющих средств и минеральных калийных удобрений.

Практическая значимость. Разработаны «Предложения о возможности утилизации регенеративного продукта из шахтных самоспасателей, непригодных для эксплуатации» для внедрения в производство.

Ключевые слова: шахтный самоспасатель; химически связанный кислород; надпероксид калия; эксплуатация; срок службы; токсический отход; рециклинг; вторичное сырье; калийное удобрение; моющее средство.

Постановка проблемы. Для защиты органов дыхания работников в угольных шахтах независимо от газового состава окружающей среды используют шахтные самоспасатели типа ШСС-1. Принцип их действия заключается в регенерации выдыхаемого воздуха в замкнутой системе аппарата зарядом кислородсодержащего вещества типа ОКЧ на основе надпероксида калия KO_2 .

После применения по назначению или окончания срока службы (5 лет при условии эксплуатации в течение одной рабочей смены в сутки) самоспасатель подлежит списанию и обезвреживанию (уничтожению) как токсичный отход (III класс опасности). В настоящее время в Донецкой Народной Республике отсутствует процедура утилизации таких отходов, количество которых ежегодно достигает более 10 т. Разработка и внедрение методик рециклинга (повторного использования) регенеративного продукта позволит не только исключить загрязнение природной среды, но и предотвратить потери ценного химического сырья.

Анализ последних исследований. Анализ причин отбраковки изолирующих самоспасателей с химически связанным кислородом позволил установить, что срок службы аппаратов типа ШСС-1 на шахтах зависит от таких факторов, как горно-геологические условия шахты, характер производственной среды, обученность персонала пункта выдачи самоспасателей (ламповой) и инженерно-технических работников правилам обслуживания самоспасателей и др.

Информационно-аналитические исследования возможности утилизации регенеративного продукта из самоспасателей показали, что существуют следующие пути обезвреживания шахтных самоспасателей:

- сжигание (описано в руководствах по эксплуатации самоспасателей предыдущих годов выпуска, в настоящее время запрещено);
- вскрытие самоспасателя, далее гашение (растворение в воде) кислородсодержащего продукта с последующей нейтрализацией полученного щелочного раствора соляной кислотой и сливом в канализацию. Остальные детали сдают в утиль.

Однако современные природоохранные требования вызывают необходимость поиска новых путей обезвреживания и рециклинга отходов шахтных самоспасателей [1, 2].

В настоящее время предложен способ утилизации регенеративных патронов и брикетов дополнительной подачи кислорода, содержащих пероксиды натрия и калия, с истекшим сроком эксплуатации. Данный способ утилизации предусматривает их вскрытие, разгерметизацию корпусов и извлечение активной пероксидной массы щелочных металлов, которую смешивают с кристаллическим хлоридом кальция в соотношении 1,4 : 1,0 по массе, добавляя дистиллированную воду в количестве, в 4...5 раз превышающем суммарное количество смеси (см.: Патент № 2631078. Российская Федерация, МПК C02F 11/08(2006.01), C01B 15/043(2006.01), A62D 9/00(2006.01), C02F 101/10(2006.01), C02F 103/34(2006.01). Способ утилизации регенеративных патронов и брикетов дополнительной подачи кислорода с истекшими сроками эксплуатации: № 2016109514 / В. В. Красильников, Б. В. Серебренников, Е. Б. Поторопин, С. В. Солошин, Т. В. Соловьева, И. Г. Медвецкая; заявитель ФГБУ «33 Центральный научно-исследовательский испытательный институт» Минобороны РФ). При этом исключают возможность пенообразования путем

поддержания температуры на уровне не выше 40 °С, выдерживают реакционную массу при температуре 40 °С в течение 4 ч и разделяют образовавшиеся слои на делительной воронке. Содержащий пероксидные соединения кальция слой отфильтровывают и сушат при температуре не более 120 °С в течение 6 ч. По утверждению разработчиков данного способа, этим обеспечивают улучшение эффективности утилизации, получение пероксида кальция с широким спектром применения и повышение экологической безопасности при проведении обезвреживания.

В результате разработанного технологического процесса переработки регенеративного продукта с химически связанным кислородом [3] производится реагент «калия гидроокиси водный раствор» (калийная щелочь КОН), которая используется в производстве мягкого мыла и других жидких моющих средств, отбеливателей, в резинотехнической промышленности, производстве удобрений, буровых растворов, в целлюлозно-бумажной отрасли и др.

В Кузбассе в Управлении дегазации и утилизации метана ОАО «СУЭК-Кузбасс» начал работу цех по утилизации шахтных самоспасателей. Мощность производства рассчитана на утилизацию 48 тысяч самоспасателей в год. Потребность компании «СУЭК-Кузбасс» – 6,5 тысячи самоспасателей в год.

Таким образом, продолжается поиск оптимальных с точки зрения экологии и экономики способов обезвреживания (и повторного использования) регенеративного продукта на основе надпероксида калия (II класс опасности) – наиболее дорогостоящего и самого опасного компонента шахтного самоспасателя.

Результаты исследований. ГБУ «НИИ «Респиратор» рассмотрены и исследованы следующие способы обезвреживания шахтных самоспасателей:

- разборка самоспасателя (неиспользованного по назначению и герметичного) с целью извлечения кислородсодержащего продукта для последующего использования при снаряжении новых дыхательных аппаратов;
- разборка самоспасателя, гашение кислородсодержащего продукта, использование полученного щелочного раствора в качестве умягчителя шахтных вод;
- разборка самоспасателя, использование кислородсодержащего продукта в производстве мыла, очистителя сливных труб и сырья для производства калийных удобрений.

Специалисты института накопили сведения о возможности повторного использования регенеративного патрона с продуктом ОКЧ-3, а также некоторых других комплектующих деталей самоспасателей. При обезвреживании самоспасателей установлено, что герметичные, не использованные по назначению самоспасатели, к концу срока эксплуатации (2,5...3 года) оставались работоспособными и сохраняли показатели на уровне требований к аппарату, что позволяло продлевать срок их службы сверх гарантийного на 1...2 года. Кроме того, завод-изготовитель восстанавливал самоспасатели ШСС-1 без

замены регенеративного патрона, заменяя защитный металлический футляр, что позволяло продлить срок службы самоспасателя еще на 2 года [4].

Следует отметить, что в связи с изменением фракционного состава сорбента в результате измельчения повторное использование продукта ОКЧ-3 при снаряжении дыхательных аппаратов может быть рекомендовано заводу-изготовителю проводить путем смешения последнего в различных соотношениях со свежееизготовленным продуктом ОКЧ-3 или в чистом виде для снаряжения патронов учебного самоспасателя ШСС-1Т1. Во всех случаях повторного использования продукта ОКЧ-3 каждая его партия должна пройти входной контроль, быть тщательно проанализирована и испытана, прежде чем она будет использована в чистом виде или в составе смесей.

В настоящее время в рамках выполненной работы проведены экспериментальные исследования по умягчению шахтной воды (удалению из шахтной воды соединений жесткости, то есть хлоридов и сульфатов кальция и магния) реагентным методом: растворами, приготовленными из отходов самоспасателей ШСС-1, содержащих продукт ОКЧ-3 [5]. Реагент (продукт ОКЧ-3) в разных количествах – от 2 до 30 г и в разном состоянии (свежееизготовленном и после отработки по кислороду) постепенно вводили в пробы шахтной воды объемом 40 мл. Перед исследованием по умягчению воды образцы отфильтровывали от примесей, производили качественное (с помощью индикатора – лакмусовой бумаги) и количественное (с помощью рН-метра) измерение щелочности, то есть водородного показателя (рН). Результаты исследований по умягчению шахтной воды продуктом ОКЧ-3 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения рН шахтной воды, умягченной продуктом ОКЧ-3

Количество пробы шахтной воды, мл	Измерение щелочности		Реакция среды
	по шкале лакмусовой бумаги «универсал»	рН-метр	
40 (шахтная вода)	8,0 (цвет синий) 8,0 8,0	7,43 – 7,46 7,52 – 7,55 7,52 – 7,53	Слабо щелочная То же "
40 (шахтная вода) + 3 г (ОКЧ-3)	9,0 (цвет синий) 9,0	12,00 – 12,02 12,33 – 12,35	Сильно щелочная
40 (шахтная вода) Кипячение в течение 1 ч (освобождение от временных жестких солей)	8,0...9,0 (цвет синий)	8,21 – 8,27	Щелочная
После кипячения 40 мл шахтной воды и добавления ОКЧ-3 (3 г)	12,0 (цвет синий)	12,00 – 12,54	Сильно щелочная

При обработке шахтной воды продуктом ОКЧ-3, свежееизготовленным и после отработки по кислороду, был установлен оптимальный расход продукта на умягчение шахтной воды (с изначальной жесткостью $J_{\text{общ}} = 10,8$ мг-экв/л) (табл. 2).

Таблица 2

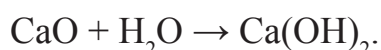
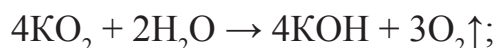
Расход ОКЧ-3 на умягчение шахтной воды с изначальной жесткостью

$$J_{\text{общ}} = 10,8 \text{ мг-экв/л}$$

Расход ОКЧ-3, кг/т	0	0,5	1	2	3	4	5	6	8	12	16
Общая жесткость, мг-экв/л	10,8	9,3	8,6	8,0	7,4	7,1	6,9	6,0	5,4	4,9	2,7

Анализ результатов экспериментальных исследований показал целесообразность применения отходов регенеративного продукта шахтных самоспасателей для умягчения шахтных вод и дальнейшего их использования в хозяйственно-бытовых нуждах угольных предприятий.

Использование кислородсодержащего продукта в производстве мыла, очистителя сливных труб обусловлено образованием концентрированной калийной щелочи КОН при растворении регенеративного продукта в воде (также в регенеративном продукте содержится оксид кальция СаО в концентрации 10...13 %, образующий при растворении гидроксид кальция)



Получаемая щелочь КОН может быть использована для растворения застоявшихся масс, упрощения процессов их движения по трубам, а также в качестве сырья в производстве мыла, описываемого реакцией омыления жиров



Определенные перспективы имеет и использование кислородсодержащего продукта в качестве сырья для производства калийных удобрений. Калий – один из трех основных питательных элементов, наряду с азотом и фосфором необходимых для повышения урожайности многих овощных культур, ягодных кустарников и плодовых деревьев.

Специалистами института проведены исследования по практическому применению кислородсодержащего продукта списанных шахтных самоспасателей в качестве калийного удобрения. Основной компонент отработанного регенеративного продукта использованных по прямому назначению самоспасателей – поташ (карбонат калия K_2CO_3), который имеет содержание действующего элемента до 56...60 % в пересчете на K_2O . Данный продукт является довольно плотной жесткой кристаллической массой с наличием раковин и монолитных кусков, которую перед применением в качестве удобрения необходимо измельчить и рассыпать на почву.

Для проведения экспериментальных исследований использовали растения (рис. 1): справа – те, в грунт которых вносили отработанный регенеративный продукт, слева – контрольная группа растений без внесения данного удобрения.

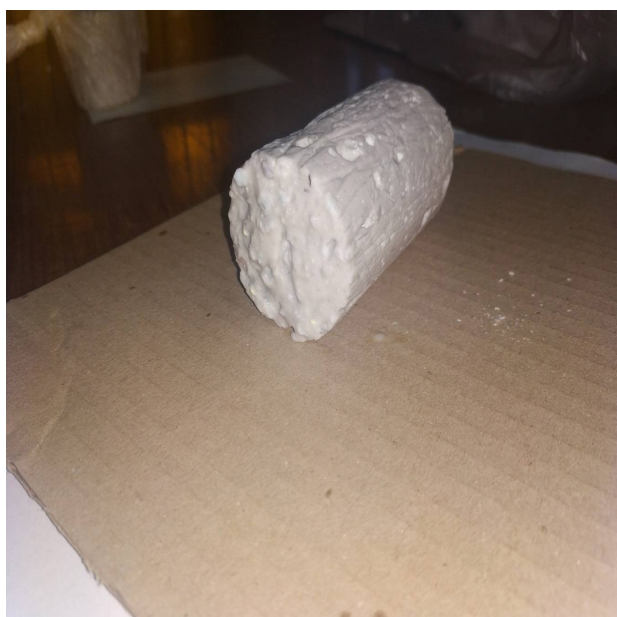


Рис. 1. Влияние отработанного регенеративного продукта на рост растений

В рамках исследований методом прессования из гранул регенеративного продукта изготовлены брикеты для размещения в почве под плодовыми деревьями в качестве удобрения. С этой целью изготовили пресс-форму для получения брикета из гранул регенеративного продукта (рис. 2). Это позволило добиться пролонгирования действия удобрения в результате замедления растворения его влагой грунта, увеличения срока действия вносимых удобрений, более равномерного поступления питательных элементов в почву во избежание резких скачков концентрации. В мировой практике применение удобрений пролонгированного действия – элемент прогрессивной агрохимии. Эффекта пролонгации достигают разными способами, среди которых: контроль растворимости в воде с помощью полупроницаемого покрытия (капсулы), медленнорастворимые соединения, использование ингибиторов нитрификации и уреазы. Специалисты института отработали технологию, позволяющую получать брикеты удобрений пролонгированного действия, которая не требует применения дорогостоящих реактивов и оборудования.



а



б

Рис. 2. Формировка брикетов из гранул регенеративного продукта:
а – пресс-форма; б – полученный брикет

В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработана схема возможного рециклинга регенеративного продукта самоспасателей (рис. 3).

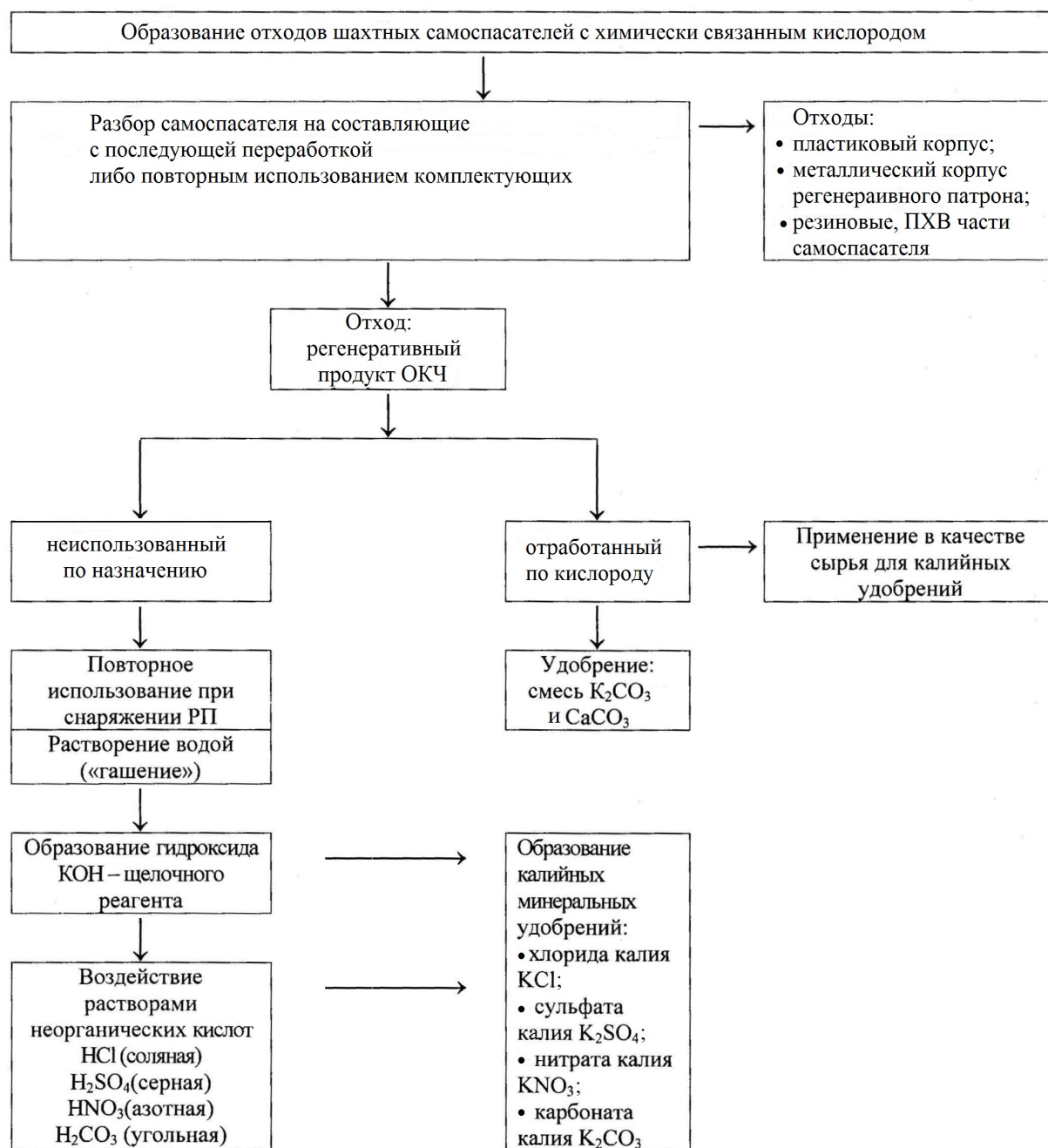


Рис. 3. Схема рециклинга регенеративного продукта самоспасателей

Выводы. В результате исследований предложены возможные способы рециклинга регенеративного продукта самоспасателей и экспериментально подтверждена возможность использования его для умягчения шахтной воды; определен его оптимальный расход; экспериментально исследована возможность применения продукта в качестве удобрений (как в гранулированной, так и в брикетированной форме); разработана схема возможного рециклинга регенеративного продукта самоспасателей. Для промышленного применения полученных результатов исследований целесообразно разработать технологический регламент и другую документацию.

Список литературы / References

1. Шевченко, Т. В. Технологические особенности обезвреживания адсорбционных компонентов промышленных изолирующих дыхательных аппаратов / Т. В. Шевченко, Л. А. Сенчурова, Е. В. Ульрих // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 3. – С. 85 – 89. – URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41399> (дата обращения: 22.07.2022). – Текст : электронный.

Shevchenko T. V., Senchurova L. A., Ulrikh Ye. V. *Tekhnologicheskiye osobennosti obezvrezhivaniya adsorbtsionnykh komponentov promyshlennyykh izoliruyushchikh dykhatelnykh apparatov* [Technological specifics of disposing the adsorptive components of industrial self-contained breathing apparatus]. *Fundamentalnyye issledovaniya*, 2017, no. 3, pp. 85-89. Available at: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41399> (accessed 22.07.2022). (In Russian)

2. Зборщик, Л. А. Утилизация химического продукта шахтных самоспасателей / Л. А. Зборщик, Р. С. Плетенецкий, В. И. Францев // Вестник Академии гражданской защиты. – Донецк, 2018. – Вып. 4(16). – С. 78 – 83.

Zborshchik L. A., Pletenetskiy R. S., Frantsev V. I. *Utilizatsiya khimicheskogo produkta shakhtnykh samospasateley* [Utilization of mine self-rescuers chemical product]. *Vestnik Akademii grazhdanskoy zashchity*. Donetsk, 2018, issue 4(16), pp. 78-83. (In Russian)

3. Зеленцова, В. В. Утилизация регенеративного калийсодержащего продукта шахтных самоспасателей / В. В. Зеленцова, О. А. Неверова // Актуальные вопросы современной науки : сборник статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции (16 декабря 2017 г., Томск) ; в 4 частях. Ч. 1. – Уфа : Дендра, 2017. – С. 13 – 18.

Zelentsova V. V., Neverova O. A. *Utilizatsiya regenerativnogo kaliysoderzhashchego produkta shakhtnykh samospasateley* [Utilization of mine self-rescuers regenerative potassium-containing product]. *Aktualnyye voprosy sovremennoy nauki : sbornik statey po materialam VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (16 dekabrya 2017 g., Tomsk) ; v 4 chastyakh. Ch. 1*. Ufa, Dendra Publ., 2017, pp. 13-18. (In Russian)

4. Ильинский, Э. Г. Повторное использование регенеративного продукта изолирующих самоспасателей / Э. Г. Ильинский, Н. Н. Бурега, Л. А. Зборщик // Горноспасательное дело. – 2010. – № 47. – С. 152 – 159.

Ilinskiy E. G., Burego N. N., Zborshchik L. A. *Povtornoye ispolzovaniye regenerativnogo produkta izoliruyushchikh samospasateley* [Reutilization of self-contained self-rescuers regenerative product]. *Gornospasatelnoye delo*, 2010, no. 47, pp. 152-159. (In Russian)

5. Высоцкий, С. П. Использование отходов самоспасателей на химически связанном кислороде для снижения карбонатной жесткости шахтной воды / С. П. Высоцкий, Д. А. Плотников, В. В. Мамаев ; Известия ТПУ, Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 7. – С. 172 – 181.

Vysotskiy S. P., Plotnikov D. A., Mamayev V. V. *Ispolzovaniye otkhodov samospasateley na khimicheski svyazannom kislorode dlya snizheniya karbonatnoy zhestkosti shakhtnoy vody* [Utilization of wastes of self-rescuers, chemical oxygen type, for reducing the carbonate hardness of mine water]. *Izvestiya TPU, Inzhiniring georesursov*, 2021, vol. 332, no. 7, pp. 172-181. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук С. П. Грековым
Дата поступления рукописи 19.08.2022

Valery Vladimirovich Mamayev, Dr. Sci. (Tech.), first deputy director (on science);

e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;

Lyubov Alekseyevna Zborshchik, senior scientific associate; e-mail: lzborschik@yandex.ru;

Ruslan Sergeyevich Pletenetskiy, senior scientific associate; e-mail: zoloto-russland@yandex.ru;

Viktor Ivanovich Frantsev, advanced engineer; e-mail: oszd_niigd_3@mail.ru

State Budgetary Establishment "The Scientific Research Institute "Respirator"

of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence,

Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters"

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone.: (+38 062) 332-78-45

RECYCLING OF DISCARDED MINE SELF-RESCUERS, CHEMICAL OXYGEN TYPE

Purpose. Investigation of an option to recycle discarded mine self-rescuers, chemical oxygen type.

Methods. Experimental and analytical methods of investigations for disposing the mine self-rescuers.

Results. The analysis of causes for screening the self-contained self-rescue apparatuses, chemical oxygen type, during the operating period has been fulfilled, the current methods of disposing the apparatuses as the class 3 toxic wastes have been examined. The new methods of disposal of the mine self-rescuers have been proposed which involve turning these wastes into the recyclables after the additional technological processing.

Scientific novelty. The comprehensive approach to the disposal of the discarded mine self-rescue apparatuses, chemical oxygen type, has been proposed: alternative recycling of the self-rescuer regenerative oxygen-containing product has been developed by utilizing it as a softener for mine waters, as a raw material for production of soap, liquid detergents and mineral potassium fertilizers.

Practical value. There have been elaborated "The Proposals on possibility to utilize the regenerative product of discarded mine self-rescuers" for implementation into production.

Keywords: mine self-rescuer; chemical oxygen; potassium superoxide; operation; service life; toxic waste; recycling; recyclable; potassium fertilizer; detergent.

УДК 622.51:628.1.034.4

Сергей Евгеньевич Гулько, д-р техн. наук, директор; e-mail: dgsh@dgsh.donetsk.ua

Государственное бюджетное учреждение «Донгипрошахт»

283001, Донецк, ул. Артема, 125. Тел.: (+38 062) 305-00-19

Иван Иванович Гомаль, канд. техн. наук, доцент; e-mail: ivan.gomal.77@mail.ru

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Донецкий национальный технический университет»

283001, Донецк, ул. Артема, 58. Тел.: (+38 071) 320-59-14

Дарья Владимировна Мачикина, ассистент, e-mail: d.machikina@mail.ru

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

286123, Макеевка, ул. Державина, 2. Тел.: (+38 071) 352-83-27

БЕЗОПАСНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Цель статьи. Обосновать возможность использования вод ликвидированных и действующих шахт для хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов Донецкой Народной Республики.

Методы. Аналитические исследования, включающие анализ и обработку специальных литературных источников, научной и технической литературы, и лабораторные исследования общесанитарных, органолептических и токсикологических показателей состава шахтных вод.

Результаты. Определены основные показатели, которые необходимо учитывать при проектировании технологий очистки шахтных вод для использования в хозяйственно-питьевых целях: стабильное наличие необходимого объема воды; наличие достаточно устоявшихся вертикальных гидрогеологических связей между шахтами; предсказуемость изменения со временем качественного состава шахтных вод под влиянием внешних факторов.

Научная новизна. Установлен временной лаг между выпадением атмосферных осадков и повышением минерализации шахтных вод, который составляет около двух месяцев.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании технологий очистки и систем водоподготовки для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения в Донецкой Народной Республике.

Ключевые слова: ликвидированные шахты; шахтные воды; геолого-гидрографические условия; хозяйственно-питьевое водоснабжение; технология очистки.

Постановка проблемы. В 2010 г. Генеральная Ассамблея ООН однозначно признала, что каждый человек имеет право на достаточное, бесперебойное, безопасное, удовлетворительное, физически доступное и приемлемое по цене водоснабжение для личных и бытовых нужд. Это является неперенным условием для развития и процветания любого сообщества.

Согласно статье 3 Федерального закона от 07.12.2011 № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» (в ред. от 01.05.2022) цель государственной политики в сфере водоснабжения – охрана здоровья населения и улучшение качества его жизни путем обеспечения бесперебойного и качественного водоснабжения.

В Донбассе существует острый дефицит воды питьевого качества. Единственный централизованный источник хозяйственно-питьевого водоснабжения Донбасса – река Северский Донец.

Торезо-Снежнянский регион наиболее нуждается в альтернативном источнике водоснабжения из-за сложной схемы подачи воды, имеющей водоводы значительной протяженности, большое количество насосных станций и практически тупиковую схему водоснабжения. Даже при стабилизации обстановки вокруг канала проблема водоснабжения удаленных городов не будет решена окончательно. В советское время она также существовала, питьевую воду подавали по графику и не всегда регулярно. В то же время в данном регионе на поверхность выкачивается огромное количество шахтной воды. Поэтому в качестве примера рассмотрим возможность использования шахтных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Снежное.

Анализ последних публикаций. Имеется большое количество публикаций, посвященных использованию шахтных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения и предотвращению негативных гидрогеологических и экологических последствий при ликвидации угольных шахт в Донбассе [1, 2], а также в угольных регионах России [3 – 7]. Однако в литературе до настоящего времени нет сведений о ситуации, сложившейся в Донбассе, когда происходило массовое единовременное закрытие шахт. Кроме того, положение усугубляется тем, что в условиях военных действий в Донбассе происходило неконтролируемое аварийное затопление шахт с непредсказуемыми последствиями.

Изложение основного материала. В настоящее время имеется необходимая правовая база для использования шахтных вод в качестве альтернативного источника водоснабжения. Разработан ряд отраслевых нормативных документов, регламентирующих возможность использования шахтных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения:

- СОУ10.1.00174125.005-2004 «Использование шахтных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Методические указания»;
- СОУ 10.1.00174125.012:2007 «Санитарно-защитные зоны источников водоснабжения, расположенных на территории закрытых угольных шахт. Требования к инженерному обеспечению».

Указанными документами в качестве предполагаемого источника водоснабжения предпочтение отдается ликвидированным шахтам, переведенным в водоотливный режим работы, что исключает возможность техногенного и бактериального загрязнения шахтных вод.

Проведем анализ гидрогеологической ситуации на шахтах, расположенных в г. Снежное, на основании имеющихся материалов архивов ГБУ «Донгипрошахт», ГУП «Донбассуглереструктуризация», ГУП «Торезантрацит». На данной территории находятся ликвидированные шахты (далее – ЛШ): «Миусская» № 27, «Восход», «Снежнянская», и действующие: «Заря», им. Л. И. Лутугина, «Ударник», которые объединены

в одну гидравлическую систему. Кроме того, необходимо учитывать водоприток не только шахт, расположенных на территории г. Снежное, но и соседних шахт, имеющих гидравлические связи с ними.

Шахта «Миусская» № 27 переведена в водоотливный режим работы с комплексом водоотлива (далее – ВОК) с погружными насосами. В ее бывшем вентиляционном стволе установлены 6 погружных насосов АНГО11 375-400, которые обеспечивают расчетную производительность водоотлива 1800 м³/ч.

Поэтому целесообразно рассмотреть возможность использования откачиваемых шахтных вод после соответствующей обработки в качестве альтернативного источника для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

В первую очередь необходимо определить стабильность поступления требуемого количества шахтной воды, предсказуемость изменения со временем ее качественного состава под влиянием внешних факторов, что позволит в дальнейшем надежно проектировать дорогостоящие системы водоподготовки.

В соответствии с существующими гидрогеологическими связями уровень перетока воды между шахтами «Миусская» № 21 и № 27 составляет +6,2 м. Соседние с шахтой «Миусская» № 27 шахты «Ударник» и им. Л.И. Лутугина повышения уровня воды в действующих выработках не наблюдают, поскольку отметки перетока на данные шахты из смежных шахт находятся выше (рис. 1).

Как видно из рис. 1, переток воды из ликвидированных и действующих шахт в шахту «Миусская» № 27 не создает опасности и обеспечивает необходимый объем воды для дальнейшего использования.

На рис. 2 представлен график изменения водопритока в шахты, примыкающие к шахте «Миусская» № 27, из которого видно, что усредненное значение водопритока в ЛШ «Миусская» № 27 за последнее время работы ВОК примерно стабильно, производительность водоотлива составляет в среднем около 500 м³/ч, за исключением обильных дождей и засушливых месяцев.

Установлено, что в пределах участка ЛШ «Миусская» № 27 особенности режима притока подземных вод определяются в основном метеорологическими факторами – выпадением атмосферных осадков. Данные о среднем помесечном количестве их получены в службе Гидрометцентра МЧС ДНР (табл. 1).

Таблица 1

Количество осадков (мм), выпавших на территории г. Снежное в 2021 г.

Месяц										
Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
70	22	60	32	58	201	51	58	34	4	54

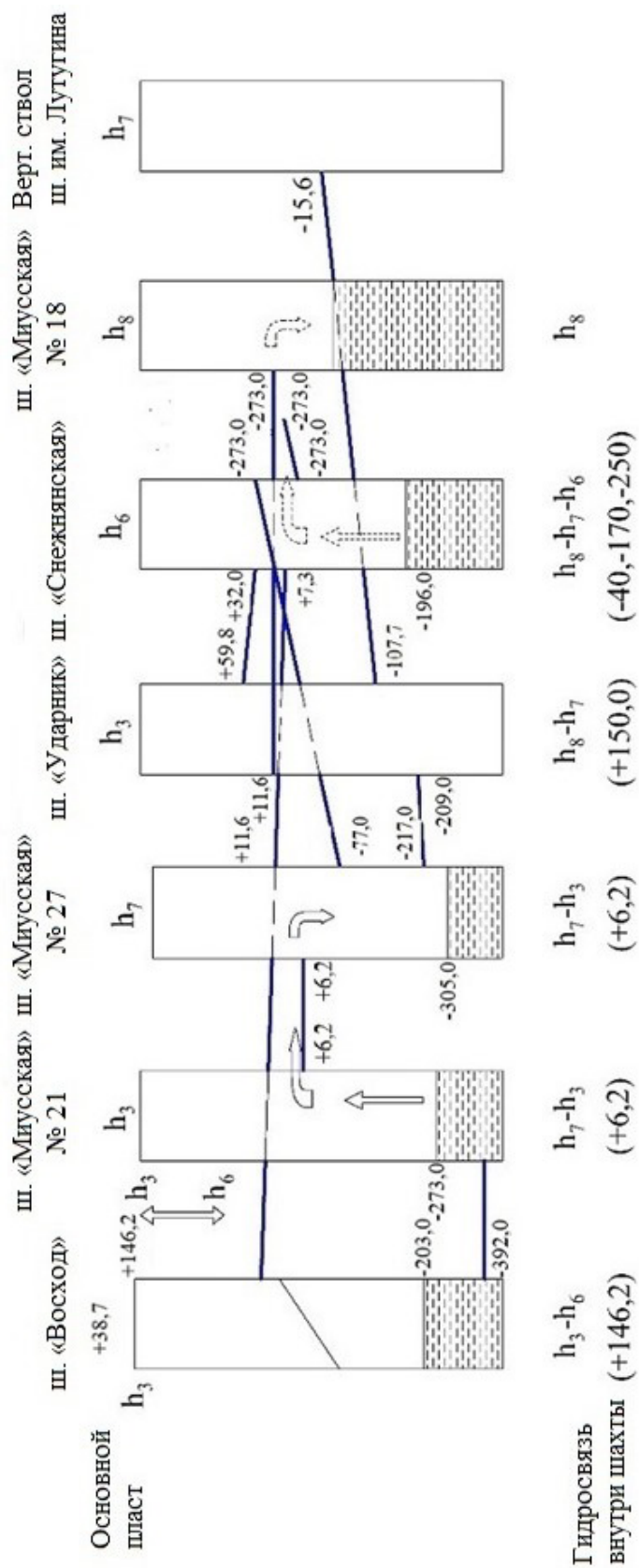


Рис. 1. Вертикальная гидрогеологическая связь для уровня +6,2 м между шахтами

– движение воды при затоплении шахты «Миусская» № 21;
 – движение воды при затоплении шахты «Снежная»

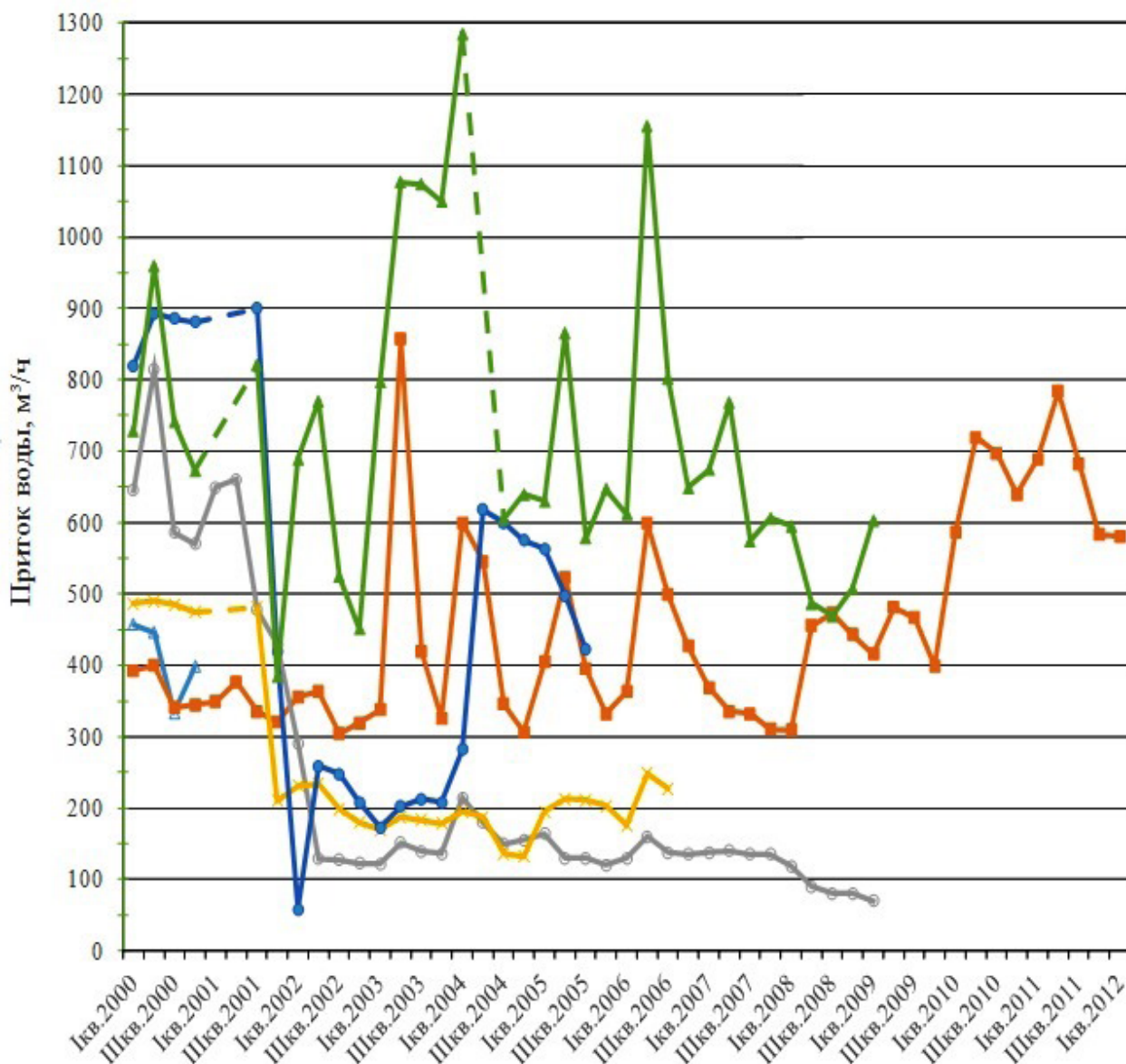


Рис. 2. Приток воды по шахтам:

— ш. «Восход»; — ш. «Ударник»; — ш. «Снежняянская»;
 — ш. «Миусская» № 18; — ш. «Миусская» № 21;
 — ш. «Миусская» № 27; ---- — данные отсутствуют

Как видно из табл. 1, количество выпавших осадков по месяцам сильно варьируется, среднегодовое количество осадков составляет 170 мм. Наблюдалась относительно стабильная амплитуда изменения выпавших атмосферных осадков на территории г. Снежное с января по ноябрь 2021 г. Полученный в июне пик колебаний можно отнести к нерядовым факторам без стабильной периодичности и при формировании прогнозных выводов в расчет не брать. И напротив, минимум осадков в октябре повторяется из года в год, что характерно для гидрометеорологических условий рассматриваемого региона.

Как показывает многолетний практический опыт ликвидации угольных предприятий, после стабилизации гидрогеологических процессов при затоплении горных выработок качественные показатели шахтных вод ликвидированных шахт значительно улучшаются, снижаются содержание взвешенных веществ, минерализация, бактериальная загрязненность.

Проанализируем качественный состав шахтных вод ВОК ЛШ «Миусская» № 27. Химический анализ проб шахтных вод с декабря 2020 по декабрь 2021 г. выполнен ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко» по заказу ГБУ «Донгипрошахт» с использованием следующих методов: потенциометрического (ПНДФ 14.1:2:3:4.121-97), гравиметрического (ПНД Ф 14.1:2:4.261-10), титриметрического (ГОСТ 31957-2012), атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ГОСТ Р 57165-2016).

Общесанитарные и органолептические показатели качественного состава проб представлены в табл. 2.

На основе химического анализа шахтных вод ВОК ЛШ «Миусская» № 27 с декабря 2020 по декабрь 2021 г. можно сделать вывод о характере и времени изменения минерального состава и его зависимости от выпавших атмосферных осадков на описываемой территории ежемесячно.

Так, большое количество атмосферных осадков в июне привело к увеличению показаний компонентов химического состава подземных вод, но только уже в августе. Такие обильные осадки в июне не характерны для данного региона, но это позволило четко определить время фильтрации поверхностных вод по толщам пород в горные выработки, которое составляет два месяца.

В этот период повысилось содержание гидрокарбонатов на 9,5 %, ионов натрия – на 21,3 %, сульфатов – на 41,2 %, а также в меньшей степени всех остальных органолептических показателей. Химический состав и минерализация подземных вод в естественных условиях в разные месяцы различны. В пределах ВОК ЛШ «Миусская» № 27 наблюдалось изменение минерализации в феврале–апреле за счет весеннего половодья.

Исходя из данных табл. 2, в воде ВОК ЛШ «Миусская» № 27 за 2021 г. наблюдалось незначительное увеличение содержания гидрокарбонатов (в феврале–апреле соответственно на 2 и 5 % от среднего значения за год), ионов натрия (в феврале – на 7,2 %, в марте – на 0,9 % от среднего значения за год), существенно увеличилось содержание сульфатов (в марте на 33,7 %, в апреле на 44,9 % от среднего значения за год). Тем не менее ни один из показателей не превысил максимально допустимого значения.

Таблица 2

Общесанитарные и органолептические показатели качественного состава проб

Дата взятия проб	Показатели												
	pH	Общая минерализация (сухой остаток), мг/дм ³	Сульфаты, мг/дм ³	Хлориды, мг/дм ³	Жесткость общая, ммоль/дм ³	Щелочность общая, ммоль/дм ³	Щелочность свободная, ммоль/дм ³	Гидрокарбонаты, мг/дм ³	Карбонаты, мг/дм ³	Магний, мг/дм ³	Калий, мг/дм ³	Кальций, мг/дм ³	Натрий, мг/дм ³
Декабрь 2020 г.	7,7	2255	375	84	8,1	19,4	0	1186	0	53	4	75	644
Январь 2021 г.	8,3	2087	285	88	7,2	20	0,82	1120	49	48	2,8	64	490
Февраль 2021 г.	8,0	1998	270	86	5,9	20	0	1220	0	40	5,5	52	580
Март 2021 г.	7,8	2065	539	87	5,1	20,6	0	1255	0	35	10	44	546
Апрель 2021 г.	7,5	2015	584	84	5,4	20,2	0	1230	0	37	4	47	510
Май 2021 г.	7,4	1980	378	82	4,8	19,6	0	1196	0	31,6	3,7	43,4	495
Июнь 2021 г.	7,1	1843	384	84	4,8	19	0	1161	0	32,2	3,8	42,4	490
Июль 2021 г.	7,7	1485	348	87	4,7	18,2	0	1111	0	31,5	3,5	41,9	487
Август 2021 г.	7,5	2280	569	90	5,7	21,4	0	1306	0	40,5	4,3	48	656
Сентябрь 2021 г.	7,5	2302	419	80	5,8	19,2	0	1173	0	43	3,8	57	644
Октябрь 2021 г.	7,7	2100	492	80	5,5	19,5	0	1190	0	36,7	3,9	48,5	526
Ноябрь 2021 г.	7,7	1835	336	77	5,1	19,5	0	1190	0	33,1	4,8	46,7	32
Декабрь 2021 г.	7,5	1594	270	86	5,4	19,2	0	1174	0	34,2	3,7	48	540
Среднее значение	7,65	1987	403	84	5,65	19,7	0,07	1193	4,08	38,14	4,45	50,61	541
Максимально допустимое значение	8,3	2302	584	90	8,1	21,4	0,82	1306	49	53	10	75	56

В период весеннего потепления пополнение минералами подземных и шахтных вод напрямую зависит от притока наземных вод, таяния снегов, большого выпадения атмосферных осадков, весеннего половодья. И наоборот, минерализация уменьшается в засушливое время года летом. Так, например, за июнь–июль 2021 г. содержание гидрокарбонатов в воде снизилось соответственно на 2,7 и 6,9 %, сульфатов – на 4,8 и 13,6 %, ионов натрия – на 9,4 и 10,5 %.

Одну из важнейших ролей играет увеличение суммарной доли осадков во время весенних паводков. В связи с общемировым потеплением климата и изменением температурного режима зимних месяцев в сторону повышения температуры январь и февраль теперь – время поступления атмосферных осадков в подземные и шахтные воды. А также эти зимние месяцы – источник дополнительного поступления сульфатов, гидрокарбонатов, ионов натрия

и других минералов из наземных водосборов в подземные и шахтные воды. Так, в период зимней межени и весеннего половодья изменения в сторону увеличения показаний компонентов минерального состава подземных и шахтных вод наиболее заметны и значительны.

Основные загрязнители шахтных вод, образующихся за счет фильтрации поверхностных вод в подземные горизонты, – взвешенные вещества, минеральные соли и соединения тяжелых металлов. Степень загрязнения ими подземных и шахтных вод зависит от концентрации указанных веществ в каменных углях шахты.

Главный фактор воздействия на поведение тяжелых металлов в подземных водах – значение кислотности среды, при ее повышении концентрации металлов тоже возрастают. Токсикологические показатели качественного состава проб шахтной воды представлены в табл. 3.

Основная причина загрязнения подземных и шахтных вод и ухудшения их качества – процессы окисления сульфидов до сульфатов, а также окисление и гидролиз двухвалентного железа. Благодаря содержанию в угле пирита происходит прямое окисление железа. Этот процесс двухступенчатый и быстрый, замедлить его может только повышение кислотности среды, иначе железо растворяется и образует гидроксид.

Таблица 3

Токсикологические показатели качественного состава проб шахтной воды

Дата взятия проб	Показатели					
	Железо общее, мг/дм ³	Алюминий, мг/дм ³	Медь, мг/дм ³	Свинец, мг/дм ³	Хром, мг/дм ³	Цинк, мг/дм ³
Декабрь 2020 г.	1	0,15	< 0,001	< 0,001	< 0,005	0,003
Январь 2021 г.	1	0,16	< 0,001	< 0,001	< 0,005	0,04
Февраль 2021 г.	1	< 0,1	< 0,001	< 0,001	< 0,005	0,1
Март 2021 г.	0,98	< 0,1	< 0,001	< 0,001	< 0,005	0,002
Апрель 2021 г.	1	< 0,1	< 0,001	< 0,001	< 0,005	0,005
Май 2021 г.	0,8	< 0,1	< 0,001	< 0,001	< 0,005	0,011
Июнь 2021 г.	0,73	< 0,1	< 0,001	< 0,001	< 0,005	0,004
Июль 2021 г.	0,77	< 0,1	< 0,001	< 0,001	< 0,005	0,015
Август 2021 г.	1,2	< 0,1	< 0,001	< 0,001	< 0,005	0,002
Сентябрь 2021 г.	1,2	0,1	0,1	0,002	< 0,005	0,01
Октябрь 2021 г.	1,2	0	< 0,001	< 0,001	0,3	0,1
Ноябрь 2021 г.	1,5	0,06	0,01	< 0,001	< 0,001	0,02
Декабрь 2021 г.	1,1	0,06	0,05	< 0,001	< 0,001	0,01
Среднее значение	1,04	0,1	0,1	0,001	0,027	0,02
Максимально допустимое значение	1,3	0,16	0,1	0,002	0,3	0,1

Содержание общего железа за декабрь–июль составляет (см. табл. 3) стабильно одинаковое значение – 1 мг/дм³, исключение – летние месяцы: май – 0,80; июнь – 0,73; июль – 0,77 мг/дм³. Средние значения всех токсикологических показателей не превышают максимально допустимых концентраций. Таким образом, подземные воды ВОК ЛШ «Миусская» № 27 можно отнести к гидрокарбонатно-натриево-сульфатным, слабо- и неагрессивным.

Выводы. Определены основные показатели, которые необходимо учитывать для обеспечения безопасности при проектировании дорогостоящих систем водоподготовки шахтных вод для использования в хозяйственно-питьевых целях – стабильность поступления требуемого количества воды, наличие достаточно устоявшихся вертикальных гидрогеологических связей между ликвидированными и действующими шахтами, предсказуемость изменения со временем качественного состава шахтных вод под влиянием внешних факторов. Установлен временной лаг между выпадением атмосферных осадков и повышением минерализации шахтных вод, который в данных геолого-гидрографических условиях составляет около двух месяцев.

Список литературы / References

1. Гулько, С. Е. Опыт и перспективы использования шахтной воды / С. Е. Гулько, И. И. Гомаль // Уголь Украины. – 2013. – № 6. – С. 30 – 34.

Gulko S. Ye., Gomal I. I. *Opyt i perspektivy ispolzovaniya shakhtnoy vody* [Experience and prospects of using mine water]. *Ugol Ukrainy*, 2013, no. 6, pp. 30-34. (In Russian)

2. Гулько, С. Е. Особенности использования шахтных вод в промышленных целях / С. Е. Гулько, С. П. Высоцкий // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Инженерные системы и техногенная безопасность. – 2018. – Вып. 5(133). – С. 109 – 115.

Gulko S. Ye., Vysotskiy S. P. *Osobennosti ispolzovaniya shakhtnykh vod v promyshlennykh tselyakh* [Specifics of mine waters use for industrial purposes]. *Vestnik Donbasskoy natsionalnoy akademii stroitelstva i arkhitektury. Inzhenernye sistemy i tekhnogennaya bezopasnost*, 2018, issue 5(133), pp. 109-116. (In Russian)

3. Васянович, Ю. А. Возможности использования шахтных и карьерных вод для нужд населенных пунктов в угледобывающих регионах / Ю. А. Васянович, В. П. Лушпей, О. В. Музыченко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Владивосток, 2013. – № 22. – С. 116 – 120.

Vasyanovich Yu. A., Lushpey V. P., Muzychenko O. V. *Vozmozhnosti ispolzovaniya shakhtnykh i karyernykh vod dlya nuzhd naselennykh punktov v ugledobyvayushchikh regionakh* [Possibilities of using mine and quarry waters for needs of settlements in coal-mining regions]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy*

byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). Vladivostok, 2013, no. 22, pp. 116-120. (In Russian)

4. Навитний, А. М. Опыт предотвращения негативных экологических последствий при ликвидации шахт и разрезов / А. М. Навитний, А. Н. Нетров, В. Ф. Твердохлебов // Уголь. – 2003. – № 3. – С. 15 – 16.

Navitniy A. M., Netrov A. N., Tverdokhlebov V. F. *Opyt predotvrashcheniya negativnykh ekologicheskikh posledstviy pri likvidatsii shakht i razrezov* [Experience of preventing negative ecological consequences during liquidation of mines and open-casts]. *Ugol*, 2003, no. 3, pp. 15-16. (In Russian)

5. Оценка техногенного воздействия угольных предприятий на водные объекты / Е. Л. Счастливцев, С. Г. Пушкин, Н. И. Юкина, И. А. Жукова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Новосибирск, 2013. – № S6. – С. 496 – 504.

Schastlivtsev E. L., Pushkin S. G., Yukina N. I., Zhukova I. A. *Otsenka tekhnogenogo vozdeystviya ugolnykh predpriyatiy na vodnye obyekty* [Assessment of technogenic impact of coal enterprises on water bodies]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)*, 2013, no. S6, pp. 496-504. (In Russian)

6. Гусев, Н. Н. К проблеме эффективного использования шахтных вод предприятий угольной и сланцевой промышленности / Н. Н. Гусев // Уголь. – 2010. – № 4. – С. 64 – 65.

Gusev N. N. *K probleme effektivnogo ispolzovaniya shakhtnykh vod predpriyatiy ugolnoy i slantsevoy promyshlennosti* [On the issue of effective use of mine waters of coal and shale industry enterprises]. *Ugol*, 2010, no. 4, pp. 64-65. (In Russian)

7. Счастливцев, Е. Л. Мониторинг техноприродных вод / Е. Л. Счастливцев, С. Г. Пушкин // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2014. – № 1. – С. 135 – 141.

Schastlivtsev Ye. L., Pushkin S. G. *Monitoring tekhnoprirodnnykh vod* [Monitoring of techno-natural waters]. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti*, 2014, no. 1, pp. 135-141. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 02.09.2022

Sergey Yevgenyevich Gulko, Dr. Sci. (Tech.), director; e-mail: dgsh@dgsh.donetsk.ua

State Budgetary Institution “Dongiproshakht”

283001, Donetsk, 125, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 305-00-19

Ivan Ivanovich Gomal, Cand. Sci. (Tech.), associate professor; e-mail: ivan.gomal.77@mail.ru

The State Educational Institution of Higher Occupational Education

“Donetsk National Technical University”

283001, Donetsk, 58, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 071) 320-59-14

Daria Vladimirovna Machikina, assistant lecturer; e-mail: d.machikina@mail.ru

The State Educational Institution of Higher Occupational Education

“Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture”

286123, Makeyevka, 2, ulitsa Derzhavina. Phone: (+38 071) 352-83-27

SAFETY OF USING MINE WATERS AS ALTERNATIVE SOURCE OF WATER SUPPLY

Purpose. To substantiate a feasibility of utilization of waters from liquidated and operating mines for household water use in settlements of the Donetsk People’s Republic.

Methods. Analytical investigations consisted of analysis and processing of special literary sources, scientific and technical literature and laboratory-scale studies of general sanitary, organoleptic and toxicological markers of the mine waters composition.

Results. The key markers that must be taken into account in designing the mine water treatment technologies for household water use purposes are following: consistent availability of required volume of water; established vertical hydrogeological connections between mines; predictability of changes in the qualitative composition of mine waters with time under the influence of external factors.

Scientific novelty. A time lag has been established between atmospheric precipitation and increased mineralization of mine waters; it makes about two months.

Practical value. The investigation results may be applied in design of water treatment technologies and systems for household and industrial water supply in the Donetsk People’s Republic.

Keywords: liquidated mines; mine waters; geological and hydrographic conditions; domestic water supply; treatment technology.

УДК [502.3:504.5]:621.182

Анатолий Филиппович Долженков, д-р техн. наук, заместитель директора (по научной работе); e-mail: dolzhenkov_52@mail.ru;

Екатерина Кайржановна Джалетова, инж.; e-mail: ekaterinajaletova@yandex.ru

Государственное бюджетное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС ДНР»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: (+38 062) 332-78-43

Анастасия Александровна Никулина, студентка; e-mail: nastay93726nikulina@mail.ru

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2. Тел.: (+38 071) 424-48-92

ОБОСНОВАНИЕ МЕР ПО СНИЖЕНИЮ РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ КОТЛАМИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Цель. Обосновать меры по снижению риска загрязнения атмосферы выбросами котельных, оборудованных котлами малой мощности НИИСТУ-5 и Viessmann Vitoplex 100 тип PV1, на территории Донецкой Народной Республики.

Методы. При решении поставленных задач использованы: анализ, обобщение и систематизация расчетов величины выбросов для проведения сравнительной оценки риска загрязнения атмосферы продуктами сгорания, образующимися во время сжигания органического топлива в котлах малой мощности НИИСТУ-5 и Viessmann Vitoplex 100 тип PV1.

Результаты. На основе анализа загрязнения атмосферы вредными веществами при эксплуатации коммунальных котельных выполнена сравнительная оценка экологического риска загрязнения внешней среды выбросами котлов малой мощности НИИСТУ-5 и Viessmann Vitoplex 100 тип PV1.

Научная новизна. Обоснованы методические подходы к проведению сравнительной оценки степени риска экологического загрязнения атмосферы при эксплуатации котлов малой мощности для снижения выбросов в окружающую среду.

Практическая значимость. Полученные результаты позволят обосновать комплекс мероприятий, направленных на снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных, оборудованных котлами малой мощности.

Ключевые слова: *источники теплоснабжения; котельные малой мощности; водогрейные котлы; экологический риск; опасные и вредные химические вещества.*

Постановка задачи. Выбросы загрязняющих веществ определяли расчетными методами [1]. Они основаны на использовании показателя эмиссии, который характеризует массовое количество загрязняющего вещества, выбрасываемого энергетической установкой в атмосферный воздух вместе с дымовыми газами, отнесенное к единице энергии, выделяемой во время сгорания топлива.

Существуют два показателя эмиссии – обобщенный и специфический. Обобщенный показатель эмиссии загрязняющего вещества – средняя удельная величина выброса для определенных категорий энергетических установок, технологий сжигания топлива, видов топлива с учетом мероприятий по

снижению выбросов загрязняющего вещества. Он не учитывает особенностей химического состава топлива. Специфический показатель эмиссии – удельная величина выброса, которая определяется для конкретной энергетической установки с учетом индивидуальных характеристик топлива, конкретных характеристик процесса сжигания и мероприятий по снижению выброса загрязняющего вещества. Если присутствуют оба показателя эмиссии загрязняющего вещества, то, как правило, используют специфический как наиболее информативный.

Анализ последних исследований. Валовый выброс j -го загрязняющего вещества E_j , т/год, выбрасываемый в атмосферу с дымовыми газами энергетической установкой за промежуток времени P , определяют как сумму валовых выбросов этого вещества во время сжигания различных видов топлива, в том числе во время их одновременного сжигания, по формуле [1]

$$E_j = \sum_i E_{ji} = 10^{-6} \sum_i k_{ji} B_i (Q_i^r)_i, \quad (1)$$

где E_{ji} – валовый выброс j -го загрязняющего вещества во время сжигания i -го топлива за промежуток времени P , т;

k_{ji} – показатель эмиссии j -го загрязняющего вещества для i -го топлива, г/ГДж;

B_i – расход i -го топлива за промежуток времени P , т/год;

$(Q_i^r)_i$ – низшая рабочая теплота сгорания i -го топлива, МДж/кг.

С целью оценки риска экологического загрязнения атмосферы при эксплуатации коммунальных котельных малой мощности проведена сравнительная оценка двух типов установок – НИИСТУ-5 и Viessmann Vitoplex 100 тип PV1. НИИСТУ-5 – малоэффективный котел с низким КПД, не превышающим 70 %, с устаревшей автоматикой и горелочными устройствами, что приводит к значительным расходам топлива [2]. Более современный котлоагрегат Viessmann Vitoplex 100 тип PV1 имеет КПД, равный 94 %; его котловой блок обеспечен большим объемом наполнения водой, что увеличивает продолжительность работы горелки и снижает частоту запусков.

Цель работы – обосновать меры по снижению риска загрязнения атмосферы выбросами котельных, оборудованных котлами малой мощности НИИСТУ-5 и Viessmann Vitoplex 100 тип PV1 на территории Донецкой Народной Республики.

Результаты исследования. В процессе исследования был проанализирован расход топлива при эксплуатации двух типов котлов. Как видно из результатов (см. табл. 1), при одинаковой теплоте сгорания объем израсходованного газообразного топлива при эксплуатации котла НИИСТУ-5 на 588 тыс. м³ выше, чем у котла Viessmann Vitoplex 100 тип PV1, а среднегодовой расход топлива – на 418 т/год.

Таблица 1

Масса израсходованного газообразного топлива
и массовая низшая теплота сгорания топлива при эксплуатации котлов
НИИСТУ-5 и Viessmann Vitoplex 100 тип PV1

Источ- ник выбро- сов	Газопровод	Объем израсходованного газообразного топлива B_v , тыс. м ³	Среднегодовой расход топлива B_p , т/год	Массовая низшая теплота сгорания газообразного топлива Q_n , МДж/кг
1	НИИСТУ-5	3390,996	2414,39	47,33
2	Viessmann Vitoplex 100 тип PV1	2803,2	1995,88	47,33

Массовый элементный состав газообразного топлива, на котором работают котлы НИИСТУ-5 и Vitoplex 100 тип PV1, идентичен и представлен следующим соотношением: С – 76,696 %, Н – 24,929 %, N – 4,705 % и О – 0,664 %. Выбросы в атмосферу при сжигании газообразного органического топлива стационарными источниками котельной, оборудованной котлами малой мощности, применяемыми на территории Донецкой Народной Республики, имеют следующий состав: CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} , C_5H_{12} , CO_2 , N_2 , H_2S . Сгорание этого топлива в основном представлено такими продуктами, как оксиды азота (оксид азота NO и диоксид азота NO_2), выбросы которых определяют в пересчете на NO_2 ; оксиды диазота; оксиды и диоксиды углерода; тяжелые металлы (в виде ртути и ее соединений); метан и др.

Массу израсходованного газообразного топлива B , т, и массовую низшую теплоту сгорания газообразного топлива Q_i^r , МДж/кг, рассчитывают по формулам [3]

$$B = B_v \rho_n; \quad (2)$$

$$Q_i^r = Q_{iv}^r / \rho_n, \quad (3)$$

где B_v – объем израсходованного газообразного топлива при нормальных условиях, тыс. м³;

Q_{iv}^r – объемная низшая теплота сгорания топлива при нормальных условиях, МДж/м³;

ρ_n – плотность газообразного топлива при нормальных условиях, кг/м³.

Показатель эмиссии оксидов азота k_{NOx} , г/ГДж, с учетом мероприятий по снижению выбросов рассчитывали по формуле [4]

$$k_{\text{NO}_x} = (k_{\text{NO}_x})_0 f_n (1 - \eta_I) (1 - \eta_{II} \beta), \quad (4)$$

где $(k_{\text{NO}_x})_0$ – показатель эмиссии оксидов азота без учета мероприятий по снижению выбросов, г/ГДж;

f_n – степень уменьшения выброса NO_x во время работы при низкой нагрузке;

η_I – эффективность первичных (режимно-технологических) мероприятий по сокращению выбросов;

η_{II} – эффективность вторичных мероприятий (азотоочистные установки);

β – коэффициент работы азотоочистной установки.

Для конкретной котельной малой мощности, как и для других энергетических установок, специфический показатель эмиссии оксидов азота может быть определен на основе результатов испытаний, документально подтвержденных соответствующими актами.

Первичные (режимно-технологические) мероприятия направлены на уменьшение образования оксидов азота в топке или камере сгорания энергетической установки. К этим мероприятиям относятся: использование малотоксичных горелок, ступенчатая подача воздуха и топлива, рециркуляция дымовых газов и т.п. Эффективность применения первичных мероприятий η_I , отдельно и их комбинаций, определяют по результатам испытаний энергетической установки после их внедрения и утверждают соответствующими актами [5].

При невозможности достижения с помощью первичных мероприятий допустимых концентраций оксидов азота в дымовых газах для их очистки от NO_x используют азотоочистную установку.

При сжигании в энергетической установке природного газа может выделяться незначительное количество ртути и ее соединений в газообразной форме.

Показатель эмиссии ртути k_{Hg} , г/ГДж, – обобщенный и рассчитывается по формуле [1]

$$k_{\text{Hg}} = (k_{\text{Hg}})_0 (1 - \eta_{\text{гзу}}), \quad (5)$$

где $(k_{\text{Hg}})_0$ – показатель эмиссии ртути без использования золоулавливающей установки, г/ГДж;

$\eta_{\text{гзу}}$ – эффективность улавливания ртути в золоулавливающей установке.

Авторами была проведена сравнительная оценка риска выбросов продуктов сгорания котлами НИИСТУ-5 и Viessmann Vitoplex 100 тип PV1 на основе расчета их выбросов на территории Донецкой Народной Республики (табл. 2).

Таблица 2

Расчет выбросов продуктов сгорания газообразного топлива
котлами НИИСТУ-5 и Viessmann Vitoplex 100 тип PV1

Источник выбросов загрязняющих веществ	Котел НИИСТУ-5	Котел Viessmann Vitoplex 100 тип PV1
Время работы котельной, ч/год	8760	8760
Фактическая тепловая мощность энергетической установки $Q_{\text{ф}}$, МВт	2,506	2,720
Номинальная тепловая мощность энергетической установки $Q_{\text{н}}$, МВт	2,600	2,720
Эмпирический коэффициент, который зависит от вида энергетической установки, ее мощности, типа топлива и т.п., z	1,25	1,25
Показатель эмиссии оксидов азота без учета мероприятий по снижению выбросов $(k_{\text{NOx}})_0$, г/ГДж	85	85
Степень уменьшения выброса NO_x , $f_{\text{н}}$	0,955	1,000
Показатель эмиссии оксидов азота при внедрении мероприятий по снижению выбросов k_{NOx} , г/ГДж	81,175	68,000
Выброс оксидов азота, т/год	9,276	6,424
Выброс оксидов азота, г/с	0,294	0,204
Оксиды углерода		
Показатель эмиссии оксида углерода k_{CO} , г/ГДж	17	17
Выброс оксида углерода, т/год,	1,943	1,606
Выброс оксида углерода, г/с	0,062	0,051
Диоксиды углерода		
Массовое содержание углерода в топливе C^r , %	76,696	76,696
Степень окисления углерода топлива ε_{C}	0,995	0,995
Показатель эмиссии диоксида углерода k_{CO_2} , г/ГДж	59119,496	59119,496
Выброс диоксида углерода, т/год	6755,767	4188,542
Выброс диоксида углерода, г/с	214,224	132,818
Выбросы ртути (Hg)		
Показатель эмиссии ртути (без использования золоулавливающей установки) $(k_{\text{Hg}})_0$, г/ГДж	0,0001	0,0001
Эффективность улавливания ртути в золоулавливающей установке $\eta_{\text{гзу}}$	0	0
Показатель эмиссии ртути (с использованием золоулавливающей установки) k_{Hg} , г/ГДж	0,000100	0,000100

Окончание табл. 2

Источник выбросов загрязняющих веществ	Котел НИИСТУ-5	Котел Viessmann Vitoplex 100 тип PV1
Выброс ртути, т/год	0,000011	0,00000094
Выброс ртути, г/с	0,00000035	0,0000003
Оксиды диазота		
Показатель эмиссии оксида диазота k_{N_2O} , г/ГДж	0,1	0,1
Выброс оксида диазота, т/год	0,011	0,009
Выброс оксида диазота, г/с	0,00035	0,00029
Выбросы метана		
Показатель эмиссии метана k_{CH_4} , г/ГДж	1	1
Выброс метана, т/год	0,114	0,094
Выброс метана, г/с	0,004	0,003

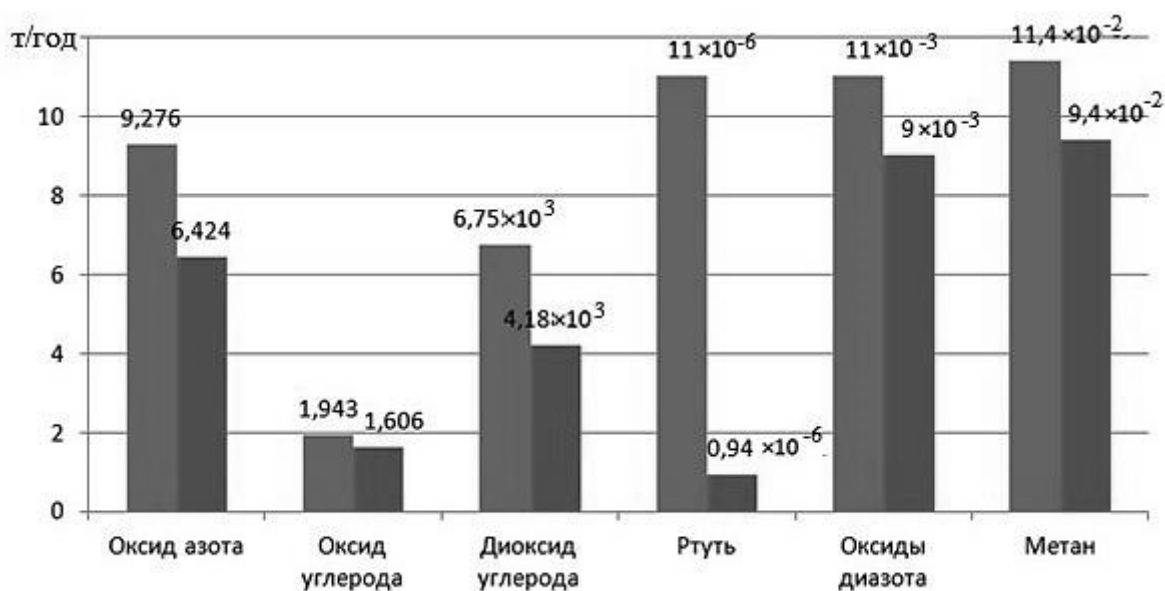


Рис. Вредные выбросы котлов малой мощности:
 ■ – НИИСТУ-5; ■ – Viessmann Vitoplex 100 тип PV1

На рисунке показано, что объем вредных выбросов продуктов сгорания газообразного топлива у котла Viessmann Vitoplex 100 тип PV1 ниже, чем у котла НИИСТУ-5 (например, эмиссия ртути значительно уменьшается), что снижает вредную нагрузку на окружающую среду.

Выводы. Проведенный сравнительный анализ двух типов котлов малой мощности НИИСТУ-5 и Viessmann Vitoplex 100 тип PV1 позволяет обосновать мероприятия, направленные на снижение риска экологического загрязнения атмосферы.

Установлено, что количество выбросов оксидов азота у котла НИИСТУ-5 на 44,39 % выше, чем у котла Viessmann Vitoplex 100 тип PV1, выбросов оксидов углерода – на 20,98 %, диоксидов углерода – на 61,29 %, оксидов диазота –

на 18,18 %, метана – на 17,54 %, а ртути – в 11,7 раза. При эксплуатации котлов малой мощности Viessmann Vitoplex 100 тип PV1 наблюдается снижение объема израсходованного газообразного топлива на 588 тыс. м³, а среднегодового расхода топлива – на 418 т/год при одинаковой теплоте сгорания.

Список литературы / References

1. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (введено письмом Ростехнадзора от 24.12.2004 № 14-01-333).

Metodicheskoye posobiye po raschetu, normirovaniyu i kontrolyu vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernyy vozdukh (vvedeno pismom Rostekhnadzora ot 24.12.2004 № 14-01-333) [Methodological guidelines for calculation, rationing and monitoring of emissions of pollutants in atmospheric air (given effect by the Rostekhnadzor letter as of December 24, 2004 № 14-01-333)]. (In Russian)

2. Соколов, Б. А. Котельные установки и их эксплуатация / Б. А. Соколов. – 2-е изд., испр. – Москва : Академия, 2007. – 432 с.

Sokolov B. A. *Kotelnye ustanovki i ikh ekspluatatsiya. 2-e izd. ispr.* [Boiler units and their operation. The 2nd revised edition]. Moscow, Akademiya Publ., 2007, 430 p. (In Russian)

3. Гришко, Б. М. Практикум по расчету горения топлива / Б. М. Гришко, П. А. Трубаев. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2020. – 70 с.

Grishko B. M., Trubaev P. A. *Praktikum po raschetu goreniya topliva* [Fuel combustion calculation workshop]. Belgorod, BGUTU Press, 2020, 70 p. (In Russian)

4. Природопользование, охрана окружающей среды и экономика : теория и практикум / под ред. А. П. Хаустова. – Москва : Изд-во РУДН, 2006. – 613 с.

Khaustov A. P. [ed.]. *Prirodopolzovaniye, okhrana okruzhayushchey sredy i ekonomika: Teoriya i praktikum* [Environmental resources management and economics: Theory and practice]. Moscow, IPK RUDN Press, 2006, 613 p. (In Russian)

5. Покровский, Л. Л. Стратегия коммунальной электротеплоэнергетики Украины на период до 2030 года / Л. Л. Покровский, Г. М. Семчук, П. Ю. Зембицкий // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 9. – С. 43 – 50.

Pokrovskiy L. L., Semchuk G. M., Zembitskiy P. Yu. *Strategiya kommunalnoy elektroteploenergetiki Ukrainy na period do 2030 goda* [Strategies of Ukraine's public electric-power energy supply for the period to 2030]. *Novosti teplosnabzheniya*, 2010, no. 9, pp. 43-50. (In Russian)

Anatoly Filippovich Dolzhenkov, Dr. Sci. (Tech.), deputy director (on science);

e-mail: dolzhenkov_52@mail.ru;

Yekaterina Kayrzhhanovna Dzhaletova, engineer; e-mail: ekaterinajaletova@yandex.ru

State Budgetary Establishment "The Scientific Research Institute "Respirator"

of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence,

Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters"

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-43

Anastasia Aleksandrovna Nikulina, student; e-mail: nastay93726nikulina@mail.ru

The State Educational Institution of Higher Occupational Education

"Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture"

286123, Makeyevka, 2, ulitsa Derzhavina. Phone: (+38 071) 424-48-92

SUBSTANTIATION OF MEASURES FOR REDUCTION OF RISK OF ATMOSPHERE POLLUTION BY EMISSIONS OF LOW-CAPACITY BOILERS

Purpose. To substantiate measures for reducing the risk of atmosphere pollution by emissions of the boiler stations equipped with the НИИСТУ-5 and Viessmann Vitoplex 100 type PV1 low-capacity boilers on the territory of the Donetsk People's Republic.

Methods. The following methods have been applied for solution of the assigned tasks: analysis, generalization and systematization of calculations of the emissions volumes for conducting the comparative analysis of risk of atmosphere pollution by the organic fuel combustion products generated by the НИИСТУ-5 and Viessmann Vitoplex 100 type PV1 power-producing units.

Results. The comparative assessment of the environmental risk of environmental pollution by emissions of the НИИСТУ-5 and Viessmann Vitoplex 100 PV1 type low-capacity boilers has been fulfilled based on the analysis of the atmosphere pollution by noxious substances emitted by the operating communal boiler stations.

Scientific novelty. The methodological approaches to conduction of the comparative assessment of risk level of the environmental pollution of atmosphere during operating the communal low-capacity boiler stations have been substantiated.

Practical value. The obtained results will facilitate the substantiation of the set of measures aimed at the reduction of emissions of pollutants into the atmosphere by the boiler stations equipped with the low-capacity boilers.

Keywords: *sources of heat supply; low-capacity boiler stations; hot water boilers; environmental risk; noxious and harmful substances.*

УДК 614.8"363":001.891.32

Вадим Борисович Капустин, директор департамента гражданской обороны и защиты населения МЧС ДНР; e-mail: mchs-dnr@mail.ru

Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики
283048, Донецк, ул. Щорса, 60. Тел.: (+38 062) 340-62-88

Татьяна Олеговна Мороз, вед. инж.; e-mail: tatiana.moroz@rambler.ru;

Максим Константинович Томилов, инж.; e-mail: tomych21@mail.ru

Государственное бюджетное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС ДНР»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: (+38 062) 332-78-43

АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ПРАВОВЫХ АКТОВ ДНР В СФЕРЕ РАДИАЦИОННОЙ, ХИМИЧЕСКОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

Цель. Обосновать предложения по совершенствованию нормативных правовых актов Донецкой Народной Республики в сфере организации мероприятий радиационной, химической и биологической защиты для гармонизации их с правовой базой Российской Федерации.

Методы. Анализ и обобщение существующих нормативных правовых актов и методических документов Донецкой Народной Республики в сфере радиационной, химической и биологической защиты.

Результаты. Разработаны предложения по совершенствованию нормативных правовых актов Донецкой Народной Республики в сфере организации мероприятий радиационной, химической и биологической защиты.

Научная новизна. Обоснованы подходы, позволяющие совершенствовать качество проводимых мероприятий в области радиационной, химической и биологической защиты для предотвращения негативного влияния последствий чрезвычайных ситуаций на население и территории.

Практическая значимость. Определение путей совершенствования правового регулирования в сфере радиационной, химической и биологической защиты в Донецкой Народной Республике в рамках процесса гармонизации законодательства с правовой базой Российской Федерации.

Ключевые слова: гражданская оборона; радиационная, химическая и биологическая защита; нормативные правовые акты; средства индивидуальной защиты; чрезвычайная ситуация; потенциально опасный объект.

Постановка задачи. Особенностью современного общества является стремление к совершенствованию технологических процессов. При этом уязвимость человечества перед авариями и катастрофами природного и техногенного характера не снижается, а при увеличении количества радиационно, химически и биологически (далее – РХБ) опасных объектов наблюдается и возрастание уровня опасности, который связан с выбросами и утечками токсичных и ядовитых химических веществ, и воздействие ионизирующего излучения, оказывающих негативное влияние на окружающую среду и организм человека. Проведенный анализ аварий на потенциально опасных РХБ объектах, как на территории нашей страны, так и на территориях

сопредельных государств, говорит о необходимости организации защиты работников на данных объектах и населения, которое может попасть в зону РХБ заражения, не только в случае военных действий, но и в мирное время. Перечисленное выше может повлечь очень опасные последствия, связанные с радиоактивным загрязнением, химическим и биологическим заражением обширных территорий и массовым поражением людей [1].

С целью снижения уровня потенциальных опасностей проводят комплекс согласованных мероприятий и действий сил гражданской обороны, направленных на обеспечение РХБ безопасности населения в условиях угрозы и возникновения чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) природного и техногенного характера, называемый РХБ защитой, которая является одним из приоритетных направлений государственной политики в сфере национальной безопасности Донецкой Народной Республики.

Деятельность предприятий, организаций и органов власти требует законодательного регулирования для обеспечения высокой эффективности проводимых мероприятий, направленных на защиту населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера, предупреждения и ликвидации этих ситуаций. Органы власти Донецкой Народной Республики и предприятия не смогут в полной мере реализовывать возложенные на них обязанности на законодательном уровне без четкого определения и разграничения их полномочий.

В рамках улучшения уровня защиты от РХБ заражения возникает необходимость в совершенствовании нормативно-правового регулирования, государственного управления и координации деятельности в этой области.

Анализ последних исследований. Вопросы законодательного регулирования отношений в области РХБ защиты подробно исследованы в научных работах российских авторов. В частности, в работах [1 – 5] рассмотрены источники РХБ угроз в современном мире. Подобного рода риски чаще всего взаимосвязаны с авариями на опасных объектах, угрозами промышленного терроризма, когда применяют средства поражения большого количества населения, а также с масштабным заражением. В связи с этим проанализированы векторы развития разнообразных методов, способов и видов РХБ защиты на территории Российской Федерации и на территориях сопредельных государств.

Цель исследования. Обосновать предложения по совершенствованию нормативных правовых актов Донецкой Народной Республики в сфере организации мероприятий РХБ защиты для их гармонизации с правовой базой Российской Федерации.

Результаты исследования. Данная работа основана на систематизации, анализе и обобщении существующих нормативных правовых актов Донецкой Народной Республики и Российской Федерации в области РХБ защиты.

Поскольку в настоящее время одно из стратегических направлений развития внешней политики Донецкой Народной Республики – гармонизация законодательства с законодательством Российской Федерации, то для совершенствования правового регулирования правоотношений в сфере РХБ защиты интерес представляет законодательный опыт Российской Федерации в данном направлении. Нормативно-правовая база Российской Федерации в области РХБ защиты – это система взглядов на защиту населения, определяющая основные источники РХБ характера, цели, задачи, принципы обеспечения и основные направления деятельности органов власти и организаций, обеспечивающих защиту населения.

Вовлеченность в процесс РХБ защиты широкого круга субъектов позволяет существенно повысить ее эффективность. Органы власти Донецкой Народной Республики и организации обязаны своевременно, оперативно оповещать население о ЧС по каналам телевидения, радиовещания, мобильных операторов связи, через специализированные информационные центры. Вся полнота ответственности за защиту населения возлагается на руководителей предприятий и учреждений, органы местного самоуправления и органы государственной власти, которые в соответствии с законодательством обязаны провести ряд защитных мероприятий. Подготовку и осуществление мероприятий в сфере инженерной, медицинской, биологической, радиационной и химической защиты населения и территорий обеспечивает Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики (далее – МЧС ДНР), реализующее государственную политику в сфере ГО.

В условиях ЧС возрастает необходимость в быстрой реализации мер РХБ защиты населения и персонала, работающего на опасных объектах, что в свою очередь требует от подразделений РХБ защиты оперативного получения информации о сложившейся ситуации, определения радиационных доз, вида опасных химических веществ, их концентрации в окружающей среде и т. д.

В случае, когда авария уже произошла, возникает необходимость создания специальных условий, которые исключают или максимально снижают уровень воздействия опасных веществ выше определенных пределов при нахождении в зонах заражения. Подобные условия регулируют созданием специальных режимов защиты населения и спасательных отрядов при проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ.

При угрозе РХБ заражения, в зависимости от типа опасности, вводятся несколько уровней реагирования: государственный, местный или объектовый, как это указано на рисунке 1, приведенном ниже.

Согласно Законам Донецкой Народной Республики от 13 февраля 2015 г. № 07-ІНС «О гражданской обороне» и от 20 ноября 2020 г. № 216-ІНС «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного

и техногенного характера» необходимые мероприятия по РХБ защите должны быть заранее спланированы и подготовлены. Эффективность проводимых мероприятий во многом зависит от полноты и качества правового регулирования правоотношений, складывающихся в рассматриваемой сфере.

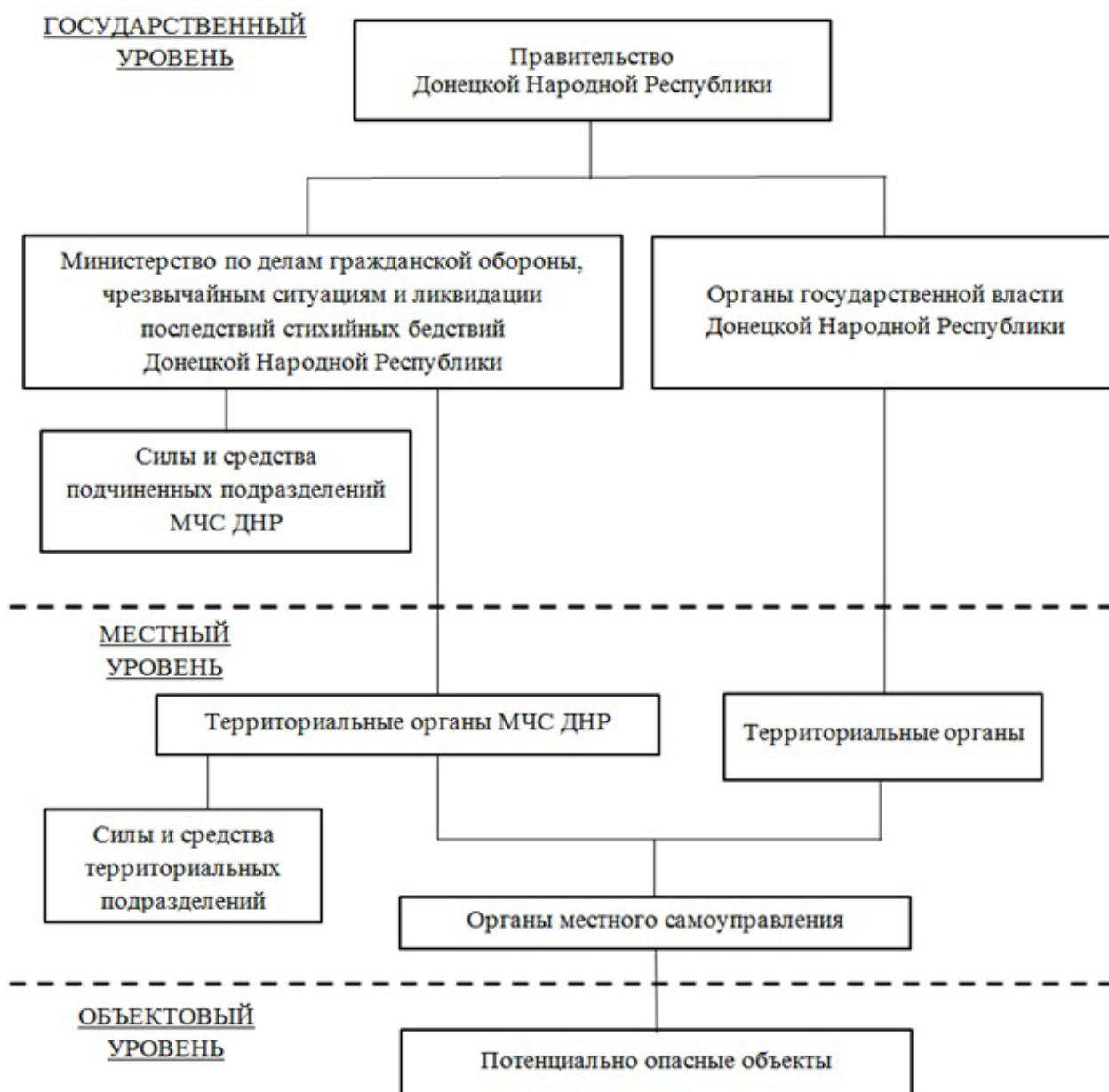


Рис. 1. Схема построения обеспечения радиационной, химической и биологической защиты Донецкой Народной Республики

Основной источник регулирования отношений в области РХБ защиты в Донецкой Народной Республике – нормативные правовые акты. Так, пунктом 4.6 Положения о гражданской обороне определено, что РХБ защита населения обеспечивается путем выполнения следующих мероприятий:

- своевременного накопления и поддержания в готовности средств индивидуальной защиты (далее – СИЗ), приборов радиационного, химического

и биологического контроля для обеспечения сил и средств ГО, персонала потенциально опасных объектов;

- определения зон радиационной и химической опасности для населения при возникновении ЧС на радиационно, химически опасных объектах;
- разработки для населения и персонала организаций, расположенных в зонах опасности, типовых режимов радиационной, химической и биологической защиты;
- разработки механизма предоставления возможности приобретения СИЗ населением в личное пользование;
- планирования и проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в случае возникновения опасности для населения при ведении военных действий или вследствие этих действий.

В Донецкой Народной Республике в настоящее время идет процесс совершенствования нормативно-правового регулирования в области радиационной безопасности. Так, 22 апреля 2022 г. Главой Донецкой Народной Республики Д. В. Пушилиным были подписаны Законы «Об обращении с радиоактивными отходами», «О радиационной безопасности населения» и «Об использовании атомной энергии», устанавливающие правовые основы радиационной безопасности, регулирования отношений в сфере использования атомной энергетики, а также правовые обязанности органов власти в сфере обращения с радиоактивными отходами.

Статьей 8 Закона «О радиационной безопасности населения» установлены допустимые значения основных предельных доз облучения на территории Донецкой Народной Республики в результате использования источников ионизирующего излучения.

Потенциально опасные объекты (организации, предприятия), имеющие дело с радиационными и ионизирующими веществами, обязаны следовать нормам радиационной безопасности, предписанным Законом Донецкой Народной Республики «Об обеспечении санитарного и эпидемического благополучия населения». Следует учесть, что работы с источниками ионизирующих излучений и радиоактивными веществами осуществляются исключительно с разрешения государственной санитарно-эпидемиологической службы. Случаи пренебрежения нормами радиационной безопасности, санитарных правил работы с указанными веществами обязательно подлежат незамедлительному расследованию с участием ответственных лиц.

Правовые основы обеспечения химической безопасности населения в Донецкой Народной Республике регулируются на уровне смежных актов и законов. В частности, некоторые вопросы определены методическими указаниями, разработанными МЧС ДНР (рис. 2). Однако это не позволяет в полном объеме учесть все существующие особенности. В связи с этим принятие и утверждение в установленном порядке Закона Донецкой Народной

Республики «О химической безопасности населения», а также нормативных правовых актов, обеспечивающих его реализацию, может стать одним из вариантов решения данной проблемы.

Главная особенность многочисленных радиационных и химических аварий – их непредсказуемость и высокая степень опасности, вследствие чего происходит стремительное распространение поражающих факторов. В зависимости от типа аварий (выброс радиоактивных веществ в атмосферу, пожар на химическом объекте, а также транспортировка опасных веществ и др.) может произойти массовое заражение воды, воздуха, почвы, то есть будет причинен прямой или косвенный ущерб населению и окружающей среде. Поэтому возникает необходимость в проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ в короткие сроки. Например, один из эффективных способов защиты населения в рамках осуществления спасательных работ – обеспечение средствами защиты органов дыхания (противогазы ГП-5, ГП-7, ПМК и др.) [6]. Обеспечение СИЗ – один из критериев безопасности и защиты населения, как в мирное, так и в военное время. В ЧС данные средства обязаны находиться в рабочем состоянии, быть готовы к использованию даже при нахождении в убежищах.

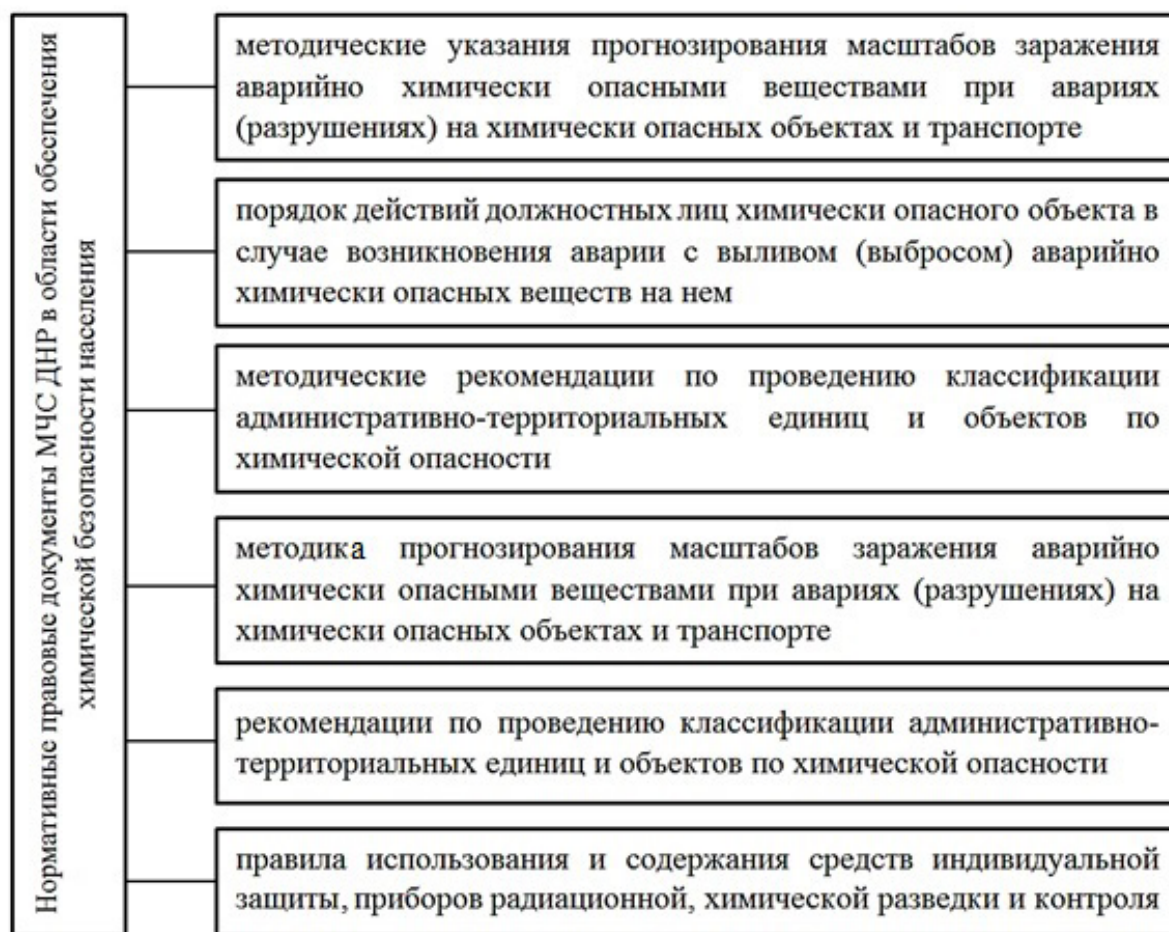


Рис. 2. Нормативные правовые документы МЧС ДНР в области обеспечения химической безопасности населения

В Российской Федерации в основных пунктах Положения об организации обеспечения населения средствами индивидуальной защиты отражены вопросы организации обеспечения СИЗ населения, проживающего и работающего на территориях в пределах границ зон:

- защитных мероприятий, устанавливаемых вокруг комплекса объектов по хранению и уничтожению химического оружия;
- возможного радиоактивного и химического загрязнения (заражения), устанавливаемых вокруг радиационно, ядерно и химически опасных объектов.

С целью определения порядка обеспечения СИЗ населения, проживающего на территориях в пределах границ зон защитных мероприятий, устанавливаемых вокруг радиационно, ядерно и химически опасных объектов, следует разработать соответствующее Положение в Донецкой Народной Республике, что позволит повысить эффективность проводимых мероприятий с целью защиты населения от РХБ заражения.

В российском законодательстве в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации «О создании локальных систем оповещения в районах размещения потенциально опасных объектов» определены границы, в рамках которых будут осуществлять свою работу локальные системы оповещения в областях размещения соответствующих производственных объектов и гидротехнических сооружений. В качестве таких объектов в общем случае могут выступать организации по производству ядерного топлива, атомные станции, мясокомбинаты, молокозаводы, хладокомбинаты, нефте-, газо- и аммиакопроводы, объекты, на которых хранится хлор и другие опасные вещества, а также плотины, водоемы, дамбы и другие гидротехнические сооружения, которые регулируют водоток или же воспринимают напор воды и ограждают водохранилища, водосборные, водозаборные, водосбросные сооружения.

Установление аналогичных с российским законодательством зон действия локальных систем оповещения в нормативных правовых актах Донецкой Народной Республики также необходимо для совершенствования мероприятий ГО по защите населения, проживающего в районах размещения потенциально опасных объектов.

Таким образом, для обеспечения высокого уровня защиты населения и территорий, которые подверглись РХБ заражению в результате аварии на соответствующем опасном объекте, требуется постоянная модернизация нормативной правовой, политической, информационной системы и других мер в соответствующей области. Реализация совершенствования системы РХБ защиты граждан Донецкой Народной Республики будет возможна в случае решения следующих задач:

- прогнозирование и предупреждение возможности чрезвычайного происшествия РХБ характера;

- определение и анализ сложившейся обстановки при произошедшей ЧС в зоне возможного заражения РХБ характера;
- осуществление непосредственной защиты от вредных и опасных угроз аварий на опасных объектах, что может привести к заражению людей, сельскохозяйственных животных и загрязнению местности;
- устранение последствий случившейся аварии.

Выводы. На данный момент в современном обществе ЧС техногенного, естественного, военного, биолого-социального характера представляют высокую опасность для человечества и окружающей среды. В системе гражданской обороны соответствующее место отводят задачам по подготовке населения к действиям при угрозе чрезвычайного характера. Поэтому необходим постоянный мониторинг законодательных, правовых актов в области гражданской обороны. В статье даются рекомендации по улучшению законодательства Донецкой Народной Республики; проведены исследования нормативных правовых актов в области РХБ защиты; выполнен анализ текущего состояния вопроса организации и обеспечения защиты населения, проживающего в зоне возможного РХБ заражения. На основании анализа сформулированы предложения по совершенствованию нормативных правовых актов Донецкой Народной Республики в сфере организации мероприятий РХБ защиты, таких как Закон Донецкой Народной Республики «О химической безопасности населения», Положение об организации обеспечения населения средствами индивидуальной защиты.

Список литературы / References

1. Заворотный, А. Г. Организация радиационной, химической и биологической защиты / А. Г. Заворотный, А. Н. Калайдов, А. Н. Неровных. – Москва : Академия ГПС МЧС России, 2017. – 325 с.

Zavorotnyy A.G., Kalaydov A.N., Neronnykh A.N. *Organizatsiya radiatsionnoy, khimicheskoy i biologicheskoy zashchity* [Organization of chemical, biological and radiological defence]. Moscow, Akademiya GPS MChS Rossii Press, 2017, 325 p. (In Russian)

2. Проблемные вопросы совершенствования системы радиационной, химической и биологической защиты населения и территорий Российской Федерации / С. В. Горбунов, С. Н. Грязнов, В. П. Малышев, Г. С. Черных // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2014. – № 2(7). – С. 86 – 90.

Gorbunov S.V., Gryaznov S.N., Malyshev V.P., Chernykh G.S. *Problemye voprosy sovershenstvovaniya sistemy radiatsionnoy, khimicheskoy i biologicheskoy zashchity naseleniya i territoriy Rossiyskoy Federatsii* [Topical issues of improvement of a system of chemical, biological and radiological defence of population and

territories of the Russian Federation]. *Strategiya grazhdanskoy zashchity: problemy i issledovaniya*. 2014, no. 2(7), pp. 86-90. (In Russian)

3. Кольцов, Г. И. Основные угрозы в области радиационной, химической и биологической безопасности / Г. И. Кольцов, В. А. Богомолов // Актуальные проблемы радиационной и химической защиты населения и территорий: сборник трудов секции № 7 XXIX Международной научно-практической конференции «Предотвращение. Спасение. Помощь», 21 марта 2019 года, ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России. – Химки, 2019. С. 34–45.

Koltsov G.I., Bogomolov V.A. *Osnovnye ugrozy v oblasti radiatsionnoy, khimicheskoy i biologicheskoy bezopasnosti* [Principal threats in the field of chemical, biological and radiological safety]. *Aktualnye problemy radiatsionnoy i khimicheskoy zashchity naseleniya i territoriy: sbornik trudov seksii №7 XXIX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Predotvrashcheniye Spaseniye. Pomoshch”*, 21 marta 2019 goda, FGBVOU VO “Akademiya grazhdanskoy zashchity MChS Rossii”. Khimki, 2019, pp. 34-45. (In Russian)

4. Техногенные угрозы. Радиационные и химические аварии / Э.Н. Аюбов [и др.]. – М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – 124 с.

Ayubov E. N. [et al.]. *Tekhnogennye ugrozy. Radiatsionnye i khimicheskiye avarii* [Man-made threats. Radiation and chemical accidents]. Moscow, FGBU VNII GOChS (FTs) Publ., 2016, 124 p. (In Russian)

5. Малышев, В. П. Защита от ионизирующих излучений / В. П. Малышев. – М. : Военные издания, 2013. – 64 с.

Malyshev V. P. *Zashchita ot ioniziruyushchikh izlucheniy* [Protection against ionizing radiation]. Moscow, Voyennye izdaniya Publ., 2013, 64 p. (In Russian)

6. Радиационная, химическая и биологическая защита / В. Ю. Радоуцкий, В. Н. Шульженко, Н. В. Рубанов [и др.]. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2007. – 185 с.

Radoutskiy V. Yu., Shulzhenko V. N., Rubanov N. V. [et al.]. *Radiatsionnaya, khimicheskaya i biologicheskaya zashchita* [Chemical, biological and radiological defence]. Belgorod, BGUTU Press, 2007, 185 p. (In Russian)

7. Справочное пособие по организации выполнения мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и проведению аварийно-спасательных работ силами и средствами органов государственной власти, органов местного самоуправления в мирное и военное время / З. Е. Баньщикова, М. С. Близнюк, В. Ю. Глебов [и др.]. – М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – 528 с.

Banshchikova Z. Ye., Bliznyuk M. S., Glebov V. Yu. [et al.]. *Spravochnoye posobiye po organizatsii vypolneniya meropriyatiy po preduprezhdeniyu i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy i provedeniyu avariyno-spasatelnykh rabot silami i sredstvami organov gosudarstvennoy vlasti, organov mestnogo samoupravleniya v mirnoye i voyennoye vremya* [Reference book on organization of conduction of measures on prevention and elimination of emergency situations and carrying-out of

emergency and rescue operations by forces and means of governmental authorities, local authorities in time of peace and war]. Moscow, FGBU VNII GOChS (FTs) Publ., 2016, 528 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 29.07.2022

Vadim Borisovich Kapustin, director of Civil Defence and Population Protection Department;
e-mail: mchs-dnr@mail.ru

Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence,
Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters
283050, Donetsk, 60, ulitsa Shchorsa. Phone: (+38 062) 340-62-88

Tatyana Olegovna Moroz, advanced engineer; e-mail: tatiana.moroz@rambler.ru;

Maksim Konstantinovich Tomilov, engineer; e-mail: tomych21@mail.ru
State Budgetary Establishment "The Scientific Research Institute "Respirator"
of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence,
Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters"
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-43

ANALYSIS OF REGULATORY LEGAL ACTS OF THE DPR IN THE FIELD OF CHEMICAL, BIOLOGICAL AND RADIOLOGICAL DEFENCE

Purpose. To substantiate proposals for improvement of regulatory legal acts of the Donetsk People's Republic in the field of organization of measures of chemical, biological and radiological defence.

Methods. Analysis and generalization of existing regulatory legal acts and methodological documents of the Donetsk People's Republic in the field of organization of measures of chemical, biological and radiological defence.

Results. The proposals for improvement of the regulatory legal acts of the Donetsk People's Republic in the field of organization of measures of chemical, biological and radiological defence have been developed.

Scientific novelty. The approaches allowing for improvement of the quality of the conducted measures in the field of the chemical, biological and radiological defence have been substantiated for preventing the negative impact of the emergency situations consequences on the population and territories.

Practical value. Determination of ways of improvement of the legal regulation in the field of the chemical, biological and radiological defence in the Donetsk People's Republic within the process of harmonization of the legislation with the Russian Federation legislative framework.

Keywords: civil defence; chemical, biological and radiological defence; regulatory legal acts; personal protective equipment; emergency situation; potentially hazardous facility.

Издания ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР»



Агеев, В. Г. Профилактика эндогенной пожароопасности : монография / В. Г. Агеев, П. С. Пашковский, С. П. Греков. – Донецк, 2020. – 592 с.

Описаны природа и механизм развития процессов самонагрева угля и других органических материалов, методы профилактики эндогенных пожаров. Проведен анализ существующих методов и математических моделей определения самовозгорания материалов органического происхождения. Разработаны математические модели самонагрева веществ с учетом их влажности переменной реакционной поверхности и очагового характера процесса. Даны методы контроля за признаками самовозгорания, оценка склонности веществ к самовозгоранию, требования к средствам изоляции и изолирующим сооружениям.

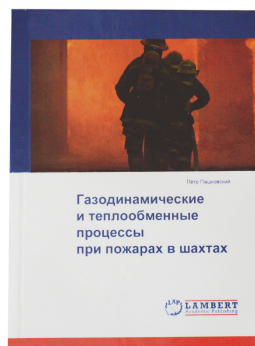
Для инженерно-технического персонала научно-исследовательских, проектных и конструкторских организаций, работников промышленности и сотрудников органов надзора и контроля за безопасностью производства.



Агеев, В. Г. Эндогенная пожароопасность на различных этапах становления шахт Донбасса: монография / В. Г. Агеев, П. С. Пашковский, С. П. Греков. – Донецк, 2018. – 148 с.

Выполнен ретроспективный анализ становления угольной промышленности Донецкого края, в том числе общей аварийности и состояния эндогенной пожароопасности. Отражены периоды зарождения, расцвета, спада, обвала, стагнации добычи угля и связанных с этим количеством аварий и эндогенных пожаров. Показана роль разработок НИИГД «Респиратор» в проблемах изучения природы самовозгорания углей, оценке степени склонности углей Донбасса к самовозгоранию, контроле за развитием процесса самовозгорания, прогнозе самовозгорания углей в конкретных горно-геологических условиях, документов и материалов, регламентирующих горные работы на пластах угля, склонных к самовозгоранию.

Монография предназначена для горноспасателей, инженерно-технических работников шахт, проектных и научно-исследовательских организаций, студентов технических вузов



Пашковский, П. С. Газодинамические и теплообменные процессы при пожарах в шахтах / П. С. Пашковский. – Донецк, 2018. – 298 с.

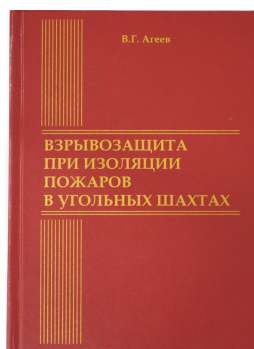
В настоящей книге систематизированы вопросы управления вентиляцией шахт при ликвидации подземных пожаров. Рассмотрены проблемы термодинамики газов, теплообмена между потоком нагретого воздуха и окружающей средой, термодинамические процессы в шахте. Приведена характеристика аварийных вентиляционных режимов, определена область их применения, изложены способы управления проветриванием, методы определения аэродинамических, тепловых и газовых параметров аварийного участка. Особое внимание уделено тем вопросам, которые недостаточно полно освещены в ранее выпущенных литературных источниках. Книга написана на основании результатов исследований, проведенных в НИИГД «Респиратор» и других организациях, а также опыта ликвидации подземных пожаров на угольных шахтах. Излагаемый материал проиллюстрирован примерами.



Мамаев, В. В. Оценка пожарной опасности угольных шахт / В. В. Мамаев. – Донецк: ФЛП Панов А.Н., 2017. – 282 с.

Приведены результаты исследований пожарной опасности материалов и изделий, технологического оборудования и подземных объектов угольных шахт. Предложены методы количественной оценки с учетом специфики их эксплуатации и возможности возникновения подземного пожара. Полученные результаты позволяют в целом повысить уровень пожарной безопасности угольных шахт.

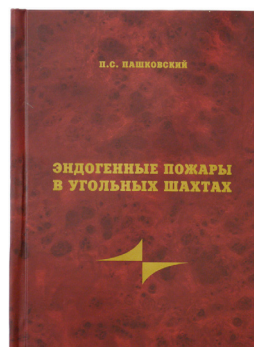
Монография предназначена для специалистов в области пожарной безопасности, инженерно-технических работников шахт, научно-исследовательских организаций, студентов технических вузов.



Агеев, В. Г. Взрывозащита при изоляции пожаров в угольных шахтах / В. Г. Агеев. – Донецк: Арпи, 2014. – 338 с.

Обобщен опыт тушения подземных пожаров в угольных шахтах, опасных по газу. Приведены результаты исследований формирования взрывоопасной среды в горных выработках, распространения воздушных ударных волн при взрывах метанопылевоздушных смесей. Результаты моделирования взрывов позволяют определять безопасные расстояния от места взрыва до места ведения горноспасательных работ. Предложены способы и средства взрывозащиты.

Монография предназначена для горноспасателей, инженерно-технических работников шахт, проектных и научно-исследовательских организаций, студентов технических вузов.



Пашковский, П. С. Эндогенные пожары в угольных шахтах / П. С. Пашковский. – Донецк: Ноулидж (донецкое отделение), 2013. – 792 с.

Описаны природа и механизм развития процессов самовозгорания угля, методы профилактики эндогенных пожаров и способы их тушения. Приведенные данные способствуют уменьшению количества эндогенных пожаров, сокращению сроков их локализации и тушения.

Монография предназначена для специалистов, занимающихся вопросами предупреждения и тушения эндогенных пожаров, преподавателей, аспирантов и студентов горных вузов.



Пашковский, П. С. Проветривание шахт при подземных пожарах / П. С. Пашковский, В. И. Лебедев. – Донецк: Арпи, 2012. – 448 с.

Систематизированы методы управления вентиляцией шахт при ликвидации подземных пожаров. Рассмотрены особенности термодинамики газов, теплообмена между потоком нагретого воздуха и окружающей средой, термодинамические процессы в шахтном воздухе. Приведена характеристика аварийных вентиляционных режимов, установлена область их применения, изложены методы определения аэродинамических, тепловых и газовых параметров аварийного участка.

Для инженерно-технических работников угольных предприятий, проектных и научно-исследовательских организаций, студентов вузов.

Правила оформления авторских рукописей для опубликования в журнале «Научный вестник НИИ «Респиратор»

К рассмотрению принимаются авторские рукописи, сопровождаемые электронной версией (Microsoft Word 2007, 2010).

Текст рукописи необходимо разместить на странице с полями 2,0 см, первые строки всех абзацев – с отступом 1,25 см, шрифт Times New Roman, кегль 14, интервал 1,5. Название статьи, заголовки элементов основного текста выделяются полужирным шрифтом.

Структура статьи:

- индекс УДК (в верхнем левом углу страницы);
- полностью имена, отчества и фамилии всех авторов (не более 4 человек), научная степень, место работы (полное название организации), должность, город, номера телефонов и электронная почта;
- название статьи (до 10 слов) на русском и английском языках;
- реферат (от 150 до 250 слов исключительно общепринятой терминологии) должен быть структурирован и содержать следующие элементы: цель; методы; результаты; научная новизна; практическая значимость; ключевые слова (не менее 5 слов) на русском и английском языках;
- основной текст статьи;
- список литературы;
- кем рекомендована статья к публикации.

Основной текст статьи должен содержать следующие необходимые элементы:

- постановка проблемы;
- анализ последних исследований и публикаций;
- выделение не решенных ранее частей общей проблемы;
- формулировка цели статьи (постановка задания);
- описание методов (структуры, последовательности) проведения исследования;
- изложение основного материала и полученных научных результатов;
- выводы и перспективы дальнейшего развития в этом направлении.

Объем статьи, включая текст, таблицы, рисунки, должен быть от 7 до 10 страниц. Рекомендуется, чтобы площадь, занятая рисунками, составляла не более 25 % общего объема. Материал должен быть изложен сжато, без повторений данных таблиц и рисунков в тексте.

Рисунки (диаграммы, фотоснимки и др.) предоставляются в виде отдельных файлов общепринятых графических форматов (jpeg, bmp). Диаграммы, схемы, графики должны быть доступны для редактирования (Word, Excel, Paint, CorelDRAW, Компас-3D и др.).

Рисунки (диаграммы, фотоснимки и др.) располагают вместе с текстом в местах ссылок на них. Изображения должны быть четкими и контрастными, иметь разрешение не менее 300 dpi. Рисунки нумеруют, если их два или более. Подписи обязательны. Недопустимо включать их в сам рисунок.

Формулы выполняются в редакторе Math Type (кроме однострочных), стиль – математический (курсив). Формулы отделяют от текста сверху и снизу одним интервалом и располагают по центру строки. Номер формулы указывается справа в круглых скобках. Нумеруют только те формулы, на которые имеются ссылки в тексте. Все физические величины приводятся в системе СИ.

Таблицы располагаются в книжной ориентации, они должны иметь заголовки и быть пронумерованными, если их две или более. Размер таблицы не должен превышать страницу.

Список литературы (не менее 5 и не более 15 источников) приводят в порядке упоминания в тексте; обозначают цифрами в квадратных скобках. Порядок изложения элементов библиографического описания на русском языке определен требованиями ГОСТ Р 7.0.100-2018. Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее половины современных (не старше 10 лет) статей из различных изданий. В списке литературы должно быть не более 20 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи. Не следует включать в список литературы нормативные документы, ГОСТы, патенты; ссылки на них должны быть даны непосредственно в тексте статьи.

Рукопись должна быть тщательно проверена, печатный вариант – подписан всеми авторами.

После рецензирования редакция регистрирует авторскую рукопись и совместно с автором ведет подготовку к публикации. Перед публикацией автору представляется отредактированный сверстаный вариант рукописи для ознакомления.

Авторские рукописи, принятые к публикации, автору не возвращаются.

Ответственность за содержание статьи несет автор.

Авторские рукописи, которые не соответствуют данным требованиям, не рассматриваются.

Порядок рецензирования авторских рукописей для опубликования в журнале «Научный вестник НИИ «Респиратор»

Редакция осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию авторских рукописей, соответствующих специализации и тематике издания, с целью их экспертной оценки.

Поступившая в редакцию рукопись научной статьи рассматривается главным редактором (заместителем главного редактора) на предмет соответствия профилю журнала. Если рукопись соответствует тематике журнала и содержит новые актуальные результаты, то ее направляют рецензентам (соответствующего профиля) для экспертной оценки.

Рецензент оценивает рукопись и дает заключение о целесообразности ее публикации.

При наличии в рецензии (рецензиях) замечаний по содержанию статьи, но при условии в целом положительных рецензий, статья отправляется автору на доработку, после чего эта статья по решению редакции может быть либо опубликована, либо направлена на повторное рецензирование.

В том случае, если рецензия содержит в целом отрицательный отзыв на статью, по решению редакции статья может быть либо снята с публикации, либо направлена автору для доработки. Доработанная статья после поступления в редакцию в обязательном порядке направляется на повторное рецензирование. Статьи, получившие две отрицательные рецензии подряд, не публикуются.

Оригиналы рецензий хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

Научный вестник НИИ «Респиратор»

2022, № 3(59)

На русском и английском языках

Ответственный редактор Л.В. Барзий

Редактор А.С. Набиулина

Технический редактор Н.Н. Грибенюк

Переводчик Л.А. Ахундова

Учредитель и издатель

*Государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС ДНР»*

Поступившие на издание авторские рукописи проходят рецензирование

**Авторы опубликованных материалов несут ответственность
за использование сведений, не подлежащих открытой публикации**

Подписано к выходу в свет 15.09.2022.

Адрес редакции и издателя: ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР»,
ул. Артема, 157, Донецк, 283048

Телефоны: (+38 062) 332-78-01; 332-78-60

Объем 8,04 Мб

E-mail: respirator@mail.dnmchs.ru

URL: <http://respirator.dnmchs.ru>

Дата размещения на сайте 19 сентября 2022 г.