



Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор»
Министерства Российской Федерации
по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий»

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК НИИ «РЕСПИРАТОР»

№ 4(60)

Выходит 4 раза в год

Основан в 1970 г.

Донецк
2023

Научный вестник НИИ «Респиратор». – Донецк, 2023. – № 4(60). – 104 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 – федеральное государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский институт «Респиратор» Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

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. 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
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 печати по рекомендации Ученого совета ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» (протокол № 6 от 06.12.2023).

Зарегистрирован Министерством информации ДНР.

Свидетельство о регистрации сетевого издания ААА № 000264 от 09.08.2022.



Federal State Institution
“The Scientific Research Institute “Respirator”
of the Ministry of the Russian Federation
for Civil Defence, Emergencies and Elimination
of Consequences of Natural Disasters”

SCIENTIFIC BULLETIN OF THE NII “RESPIRATOR”

No. 4(60)

Published quarterly

Founded in 1970

Scientific bulletin of the NII "Respirator". – Donetsk, 2023. – No. 4(60). – 104 p.

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

The published materials are intended for scientists and specialists involved in studying the problems of prevention of emergencies, eliminating the consequences, lecturers, postgraduate students and students of higher education institutions, workers of various branches of industry.

Founder and publisher – Federal State Institution "The Scientific Research Institute "Respirator" of the Ministry of the Russian Federation 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. 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
Dr. Sci. (Tech.)	G. P. Starikov
Dr. Sci. (Med.)	V. V. Cherkesov
Dr. Sci. (Chem.)	V. V. Shapovalov

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

Approved for printing according to the reference of the Academic council of FSI NII "Respirator" EMERCOM of Russia (proceeding no. 6 from 06.12.2023).

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 безопасность***

**Лабинский К. Н., Головченко Е. А.,
Мамаев В. В., Калякин С. А.**

Зависимость температуры
самовоспламенения угольного аэрозоля
от химической активности
поверхности пыли

7

**Долженков А. Ф., Старикова И. Г.,
Агарков Ал. В.**

Исследование процесса массопереноса
в горной выработке шахты
при экзогенном пожаре

17

**Лебедева В. В., Старикова И. Г.,
Непочатых И. Н., Храпоненко О. В.**
Композиционный материал
для нейтрализации аварийных проливов
химически опасных веществ

28

II. Безопасность труда

**Головченко Е. А., Пашковский О. П.,
Гусар Г. А.**

Определение критической мощности
скопления угольной пыли

36

**Мамаев В. В., Плетенецкий Р. С.,
Зборщик Л. А., Францев В. И.**

Исследование процессов
регенерации в дыхательном аппарате
с комбинированной системой сорбции
диоксида углерода

44

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

**Labinskiy K. N., Golovchenko Ye. A. ,
Mamayev V. V., Kalyakin S. A.**

Relationship between spontaneous
combustion temperature of coal aerosol
and chemical activity of dust surface

7

**Dolzhenkov A. F., Starikova I. G.,
Agarkov Al. V.**

Study of the mass transfer process
in a mine working under freely
burning fire

17

**Lebedeva V. V., Starikova I. G.,
Nepochatykh I. N., Khraponenko O. V.**
Composite material for neutralizing
the hazardous chemicals accidental
releases

28

II. Occupational safety

**Golovchenko Ye. A. , Pashkovskiy O. P.,
Gusar G. A.**

Determination of critical width
of coal dust accumulation

36

**Mamayev V. V., Pletenetskiy R. S.,
Zborshchik L. A., Frantsev V. I.**

Studies of regeneration processes
in respirator equipped with carbon dioxide
sorption hybrid system

44

**Симонов А. М., Мавроди А. В.,
Ивахненко А. В.**

Ведение аварийно-спасательных
работ в горных выработках шахт,
не имеющих запасного выхода

56

**Simonov A. M., Mavrodi A. V.,
Ivakhnenko A. V.**

Conduction of emergency-rescue
operations in mine workings of coal mines
with no emergency exit

***III. Безопасность
в чрезвычайных ситуациях***

***III. Safety
in emergency situations***

Канин В. А., Пивень Ю. А.

О необходимости учета выделения
в шахтах горючих газов
при механохимической деструкции угля

64

Kanin V. A., Piven Yu. A.

On necessity of taking into account the
flammable gasses emission in mines
during mechanochemical rupture of coal

Медгаус В. М., Лирик Ю. И.

Усовершенствование системы
управления микроклиматом
стенда Тепловая камера ТК-50

74

Medgaus V. M., Lirik Yu. I.

Microclimate control system upgrade
of the TK-50 climate chamber

Добрякова Е. И.

Обоснование методологических
подходов к определению
необходимого количества
пожарно-спасательных подразделений
в условиях военного конфликта

82

Dobryakova Ye. I.

Substantiation of methodological
approaches to determination of required
number of fire and rescue units
in conditions of war conflict

I. Пожарная безопасность

УДК 622.822.22:622.411.5

Константин Николаевич Лабинский, д-р техн. наук, доцент; e-mail: science.donntu@mail.ru
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий национальный технический университет»

283001, Донецк, ул. Артема, 58. Тел.: +7 (949) 303-61-83

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

Валерий Владимирович Мамаев, д-р техн. наук, заместитель начальника (по научной работе);
e-mail: respirator@80mchs.gov.ru

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-83; +7 (949) 340-97-96

Станислав Александрович Калякин, д-р техн. наук, проф.; e-mail: yglenit@gmail.com

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий национальный технический университет»

283001, Донецк, ул. Артема, 58. Тел.: +7 (949) 399-14-71

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ УГОЛЬНОГО АЭРОЗОЛЯ ОТ ХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПЫЛИ

Цель. Установить зависимость температуры самовоспламенения наночастиц угольной пыли от критической константы скорости окисления для оценки опасности развития процесса самовозгорания.

Методы. Экспериментальные и аналитические исследования критической константы скорости окисления и степени воспламенения и самовоспламенения наночастиц угольной пыли различных шахтопластов Донбасса.

Результаты. Проведенные исследования показали, что большая часть угольных пластов образует угольную пыль, химическая активность которой существенно выше, чем угля в массиве. Установлены зависимости температуры воспламенения и самовоспламенения угольной пыли от критической константы скорости окисления и размера фракции угольной пыли.

Научная новизна. Впервые для фракций наночастиц угольной пыли установлены зависимости температуры воспламенения и самовоспламенения от константы скорости окисления. Зависимости показывают существенное влияние химической активности на пожаровзрывоопасность угольной пыли.

Практическая значимость. Полученные результаты следует учитывать для оценки опасности развития процесса самовозгорания в случаях, если возможно образование скоплений угольной пыли при ведении горных работ. Установленные зависимости температуры воспламенения и самовоспламенения частиц угольной пыли позволяют повысить точность оценки пожаровзрывоопасных свойств наноразмерных частиц угольной пыли и пожарную безопасность ведения горных работ.

Ключевые слова: самовозгорание угля; химическая активность угля; скопления угольной пыли; уголь; наночастица; пожаровзрывоопасность; температура воспламенения; температура самовоспламенения.

Для цитирования: Лабинский К. Н., Головченко Е. А., Мамаев В. В., Калякин С. А. Зависимость температуры самовоспламенения угольного аэрозоля от химической активности поверхности пыли // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 4(60). – С. 7–16. EDN АОНХUI.

Постановка проблемы. Способность угля взаимодействовать с кислородом воздуха при естественной температуре в шахтной атмосфере при определенных условиях может вызвать развитие процесса самовозгорания. Один из значительных факторов, влияющих на возможность образования очага самовозгорания, – химическая активность угля, а один из главных параметров химической активности – константа скорости окисления угля [1].

Склонность угля к самовозгоранию устанавливают для всех вскрытых и отработываемых шахтопластов угля газохроматографическим методом, при этом исследуют пробы угля, состоящие из частиц размером 1...3 мм [2].

У угольной пыли более высокая пористость по сравнению с обычным углем, что увеличивает возможность возникновения окислительных химических реакций за счет диффузии. Важная характеристика пористости угля – удельная внутренняя поверхность, значения которой для частиц угля размером 100 мкм изменяются в пределах 380...4810 м²/кг в зависимости от стадии метаморфизма твердого топлива [1, 3]. В процессе окисления удельная внутренняя поверхность угольной частицы увеличивается за счет испарения влаги, выхода летучих веществ, изменения температуры и других факторов, что способствует более интенсивному проникновению кислорода и других газов внутрь частицы и повышает ее пожароопасные свойства.

Анализ последних исследований. Результаты исследований, приведенные в работе [1], свидетельствуют о снижении химической активности угля со временем, однако они не отражают действительного значения константы скорости окисления угольной мелочи и пыли, которая может образовываться при ведении очистных работ.

Влияние химической активности угля на процесс самонагрева рассмотрено в работах [1, 4], при этом учитывались теплоизолирующие условия экспериментов и размеры частиц угля 1...3 мм.

В работе [5] показано, что большая часть угольных пластов образует угольную пыль, константы скорости окисления которой и время инкубационного периода самовозгорания существенно выше, чем у угля.

В работах [2, 3, 5] указано: чем выше активность и воспламеняемость угля и ниже температура его воспламенения, тем в меньшей степени увеличивается внутренняя поверхность частиц во время термической деструкции на начальных стадиях горения и тем меньшее значение имеет внутреннее реагирование ингредиентов реакции. И наоборот, чем менее реакционное топливо и при более высоких температурах оно воспламеняется, тем процессы, приводящие к раскрытию пор угольного вещества, протекают полнее и тем выше значение внутреннего реагирования компонентов. С повышением температуры горения значение внутреннего реагирования частиц угля ослабевает.

Поэтому для оценки пожаровзрывоопасности и опасности развития процесса самовозгорания в скоплениях угольной пыли при ведении горных работ представляет интерес определение связи температуры самовоспламенения угольной пыли с ее химической активностью.

Цель исследования – установить зависимость температуры самовоспламенения наночастиц угольной пыли от критической константы скорости окисления для оценки опасности развития процесса самовозгорания.

Материалы и результаты исследований. Для экспериментальных исследований критической константы скорости окисления различных проб угля использовали газохроматографический метод установления склонности угля к самовозгоранию, разработанный в НИИГД «Респиратор» [2].

Отобранные пробы угля из различных шахтопластов Донецкого угольного бассейна в лабораторных условиях дробили и рассеивали на определенные фракции. Для проведения экспериментов использовали пробы угольной пыли, которые были разделены на четыре фракции: 750, 375, 175 и 50 мкм.

Для каждой подготовленной фракции угля лабораторным путем на газохроматографическом комплексе «Хромос ГХ-1000» была определена критическая константа скорости окисления $k_{кр}$, м³/(моль·с), характеризующая химическую активность угля (табл. 1).

Таблица 1

Критическая константа скорости окисления некоторых шахтопластов Донбасса в зависимости от исследуемой фракции угольной пыли

Шахта, угольный пласт, марка угля	Константа скорости окисления $k_{кр}$, м ³ /(моль·с)			
	750	375	175	50
Шахта им. Н. П. Баракова, ш/у «Краснодонское», k_5^H , Ж	$6,18 \cdot 10^{-9}$	$7,88 \cdot 10^{-9}$	$8,21 \cdot 10^{-9}$	$1,28 \cdot 10^{-8}$
Филиал «Шахта им. А. А. Скочинского», ГУП ДНР «ДУЭК», h_{10} , К	$7,45 \cdot 10^{-9}$	$8,29 \cdot 10^{-9}$	$9,17 \cdot 10^{-9}$	$9,88 \cdot 10^{-9}$
Шахта «Белореченская», ш/у «Луганское», l_6 , Г	$4,01 \cdot 10^{-9}$	$5,23 \cdot 10^{-9}$	$6,81 \cdot 10^{-9}$	$9,04 \cdot 10^{-9}$
ЧПП «Горняк-95», k_4^1 , ОС	$2,11 \cdot 10^{-9}$	$3,31 \cdot 10^{-9}$	$4,58 \cdot 10^{-9}$	$7,17 \cdot 10^{-9}$
«Шахта Комсомолец Донбасса», ГУП ДНР, l_4 , Т	$9,70 \cdot 10^{-9}$	$1,87 \cdot 10^{-9}$	$4,01 \cdot 10^{-9}$	$7,27 \cdot 10^{-9}$

Как известно, экспоненциальная зависимость константы скорости реакции от температуры и величины энергии активации получена С. А. Аррениусом. Анализ результатов исследований показывает, что критическая константа

скорости окисления $k_{кр}$ для каждого из исследуемых шахтопластов Донбасса также может быть описана экспоненциальной зависимостью

$$k_{кр} = ae^{-bd}, \quad (1)$$

где d – размер угольных частиц, мкм.

Коэффициенты a и b экспоненциального уравнения для каждого из исследуемых шахтопластов, а также значения соответствующего среднеквадратичного отклонения R^2 приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов экспоненциальных уравнений, описывающих изменение скорости окисления шахтопластов Донбасса

Шахта, угольный пласт, марка угля	a	b	Среднеквадратичное отклонение, R^2
Шахта им. Н.П. Баракова, ш/у «Краснодонское», k_5^H , Ж	$9,8 \cdot 10^{-9}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	0,94
Филиал «Шахта им. А. А. Скочинского», ГУП ДНР «ДУЭК», h_{10} , К	$10,6 \cdot 10^{-9}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	0,96
Шахта «Белореченская», ш/у «Луганское», l_6 , Г	$8,8 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	0,97
ЧПП «Горняк-95», k_4^1 , ОС	$7,4 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	0,97
«Шахта Комсомолец Донбасса», ГУП ДНР, l_4 , Т	$6,2 \cdot 10^{-9}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	0,96

Зависимость коэффициентов экспоненциального уравнения (1) a и b от размера частиц с высокой точностью описывается экспоненциальной зависимостью, что позволяет, выразив значение коэффициента b через коэффициент a , одним числом характеризовать способность угля конкретного шахтопласта к окислению

$$b = 0,0403e^{-0,415a}. \quad (2)$$

Установленная зависимость коэффициентов a и b представлена на рисунке 1.

Подставляя зависимость (2) в зависимость (1), критическую константу скорости окисления угля можно описать следующим образом:

$$k_{кр} = a \cdot 10^{-9} e^{-0,0403e^{-0,415a}d}. \quad (3)$$

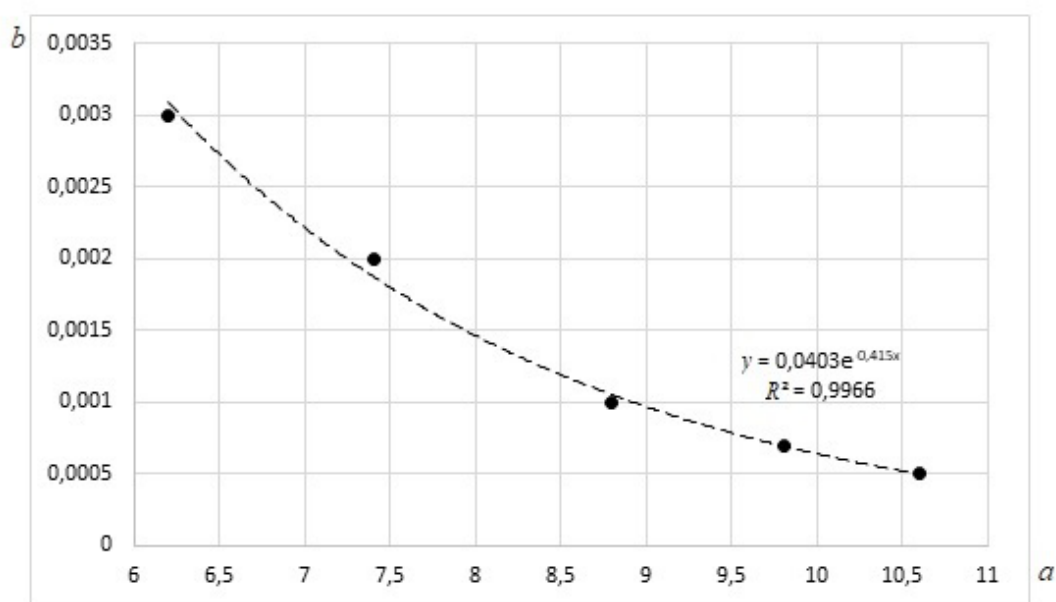


Рис. 1. Зависимость коэффициентов a и b экспоненциальных уравнений

Результаты определения критической константы скорости окисления угля шахтопластов Донбасса по зависимости (3) приведены на рисунке 2.

На рисунке 3 приведена карта поверхности критической константы скорости окисления угля шахтопластов Донбасса, определенной по зависимости (3), с учетом размера угольных частиц в пробах d и коэффициента a .

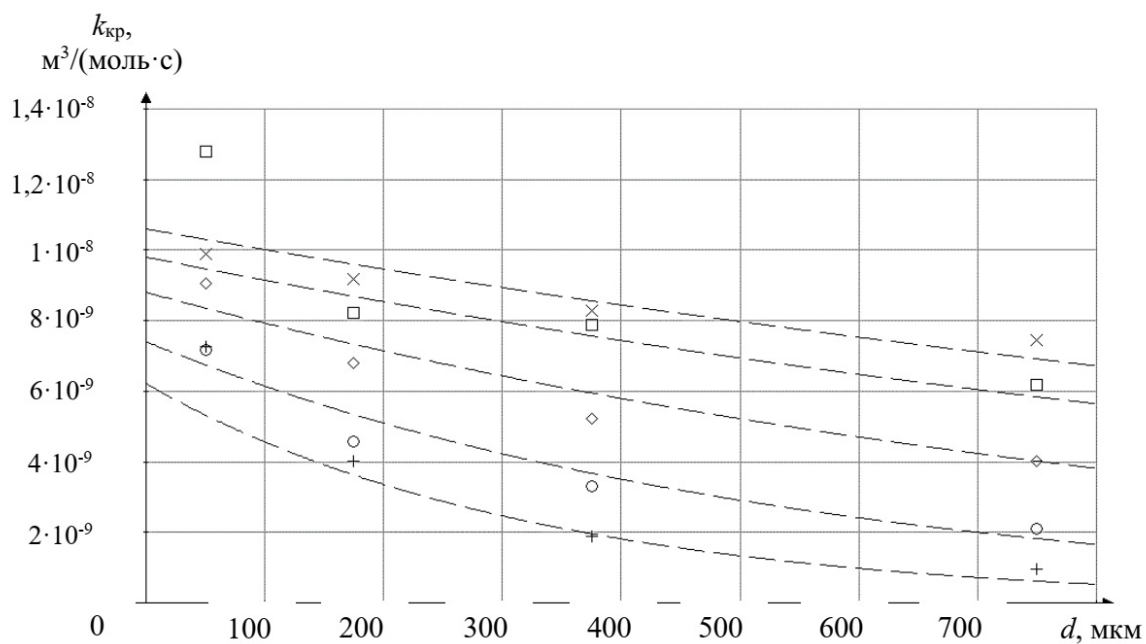


Рис. 2. Результаты определения критической константы скорости окисления угля шахтопластов Донбасса:

□ – уголь марки Ж; × – уголь марки К; ◇ – уголь марки Г;
○ – уголь марки ОС; + – уголь марки Т

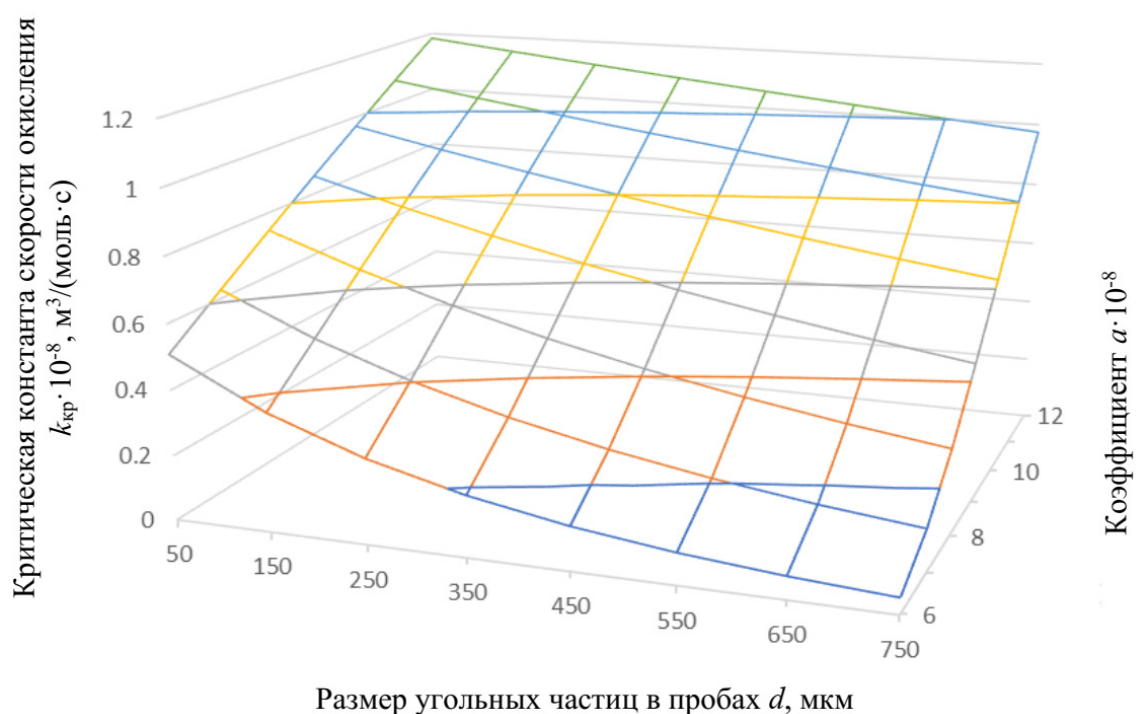


Рис. 3. Карта поверхности критической константы скорости окисления угля шахтопластов Донбасса:
■ – 0...0,2; ■ – 0,2...0,4; ■ – 0,4...0,6; ■ – 0,6...0,8; ■ – 0,8...1,0; ■ – 1,0...1,2

Анализ результатов исследований показывает, что уменьшение размера фракций угольной пыли до состояния наночастиц влияет на химическую активность угля всех исследуемых шахтопластов и марок угля. Критическая константа скорости окисления угля в исследуемых пробах угольной пыли размером 50 мкм существенно выше, чем у пыли с размером частиц 750 мкм. Для угля марки Ж и угля марки Т наблюдается резкое увеличение скорости окисления при размере частиц 50 мкм, что требует отдельных исследований для частиц размером менее 50 мкм. Это особенно важно, поскольку дисперсный состав пыли, связанный с ее удельной поверхностью, – существенный фактор, определяющий ее взрывчатость [2 – 4]. Увеличение степени измельчения угольной пыли не всегда приводит к линейному росту силы взрыва и в отдельных случаях достигает максимума при диаметре частиц около 10 мкм.

Одни из основных показателей, характеризующих пожаровзрывоопасность угольной пыли, – температура воспламенения t_b , °С, и самовоспламенения t_{cv} , °С, которые устанавливают в диапазоне 25...600 °С [2, 4].

Результаты экспериментального определения температуры воспламенения исследуемых фракций угольной пыли представлены в таблице 3, а самовоспламенения – в таблице 4.

Таблица 3

Результаты экспериментального определения температуры воспламенения исследуемых фракций угольной пыли

Шахта, угольный пласт, марка угля	Температура воспламенения t_b , °C, при размере угольных частиц в пробах d , мкм			
	750	375	175	50
Шахта им. Н. П. Баракова, ш/у «Краснодонское», k_5^H , Ж	373	370	368	370
Филиал «Шахта им. А. А. Скочинского», ГУП ДНР «ДУЭК», h_{10} , К	375	371	368	370
Шахта «Белореченская» ш/у «Луганское», l_6 , Г	362	335	303	320
ЧПП «Горняк-95», k_4^1 , ОС	542	540	540	545
«Шахта Комсомолец Донбасса», ГУП ДНР, l_4 , Т	545	541	540	550

Таблица 4

Результаты экспериментального определения температуры самовоспламенения исследуемых фракций угольной пыли

Шахта, угольный пласт, марка угля	Температура самовоспламенения t_b , °C, при размере угольных частиц в пробах d , мкм			
	750	375	175	50
Шахта им. Н.П. Баракова, ш/у «Краснодонское», k_5^H , Ж	550	> 600,0	> 600,0	> 600,0
Филиал «Шахта им. А. А. Скочинского», ГУП ДНР «ДУЭК», h_{10} , К	550	> 600,0	> 600,0	> 600,0
Шахта «Белореченская», ш/у «Луганское», l_6 , Г	525	540	550	560
ЧПП «Горняк-95», k_4^1 , ОС	> 600,0	> 600,0	> 600,0	> 600,0
«Шахта Комсомолец Донбасса», ГУП ДНР, l_4 , Т	> 600,0	> 600,0	> 600,0	> 600,0

Из анализа результатов следует, что размеры частиц угольной пыли не влияют на температуру воспламенения (табл. 3), а температура самовоспламенения менее 600 °C наблюдается только у трех из пяти проанализированных марок углей (табл. 4), что также указывает на

необходимость более детального исследования частиц угля размером менее 50 мкм.

Выводы. Исследования позволили установить зависимость критической константы скорости окисления угля некоторых шахтопластов Донбасса от размера фракций угольной пыли. Взаимосвязь критической константы скорости окисления и размера частиц угля описана экспоненциальными зависимостями. Найденная зависимость между коэффициентами экспоненциальных уравнений позволила установить обобщенную зависимость критической константы скорости окисления от коэффициента a и размера частиц угля. Для углей марок Ж и Т наблюдается резкий рост критической константы скорости окисления при размере частиц 50 мкм. Анализ температуры воспламенения и самовоспламенения показывает необходимость проведения исследований с углями фракций менее 50 мкм.

Список литературы / References

1. Пашковский, П. С. Актуальные вопросы борьбы с самовозгоранием угля : сборник научных трудов / П. С. Пашковский, С. П. Греков, И. Н. Зинченко. – Донецк : ЧП «Арпи», 2012. – 656 с.

Pashkovskiy, P. S., Grekov, S. P., Zinchenko, I. N. *Aktualnye voprosy borby s samovozgoraniem uglya : sbornik nauchnykh trudov* [Actual problems of fighting the spontaneous combustion of coal: collection of scientific papers]. Donetsk, ChP “Arpi” Publ., 2012, 656 p. (In Russian)

2. Пашковский, П. С. Новый метод локального прогноза эндогенной пожароопасности выемочного участка в процессе ведения горных работ / П. С. Пашковский, И. А. Шайтан, И. Н. Коваль // Научно-технические достижения и передовой опыт в угольной промышленности : сборник. – Москва : ЦНИЭИУголь, 1991. – Вып. 10. – С. 19 – 22.

Pashkovskiy, P. S., Shaytan, I. A., Koval, I. N. *Novyy metod lokalnogo prognoza endogennoy pozharoopasnosti vyemochного uchastka v protsesse vedeniya gornykh rabot* [Novel method for local prediction of working area spontaneous fire hazard in the process of mining works]. *Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya i peredovoy opyt v ugolnoy promyshlennosti : digest*. Moscow, TsNIEIUgol Publ., 1991, issue 10, pp. 19-22. (In Russian)

3. Троп, А. Е. Прогнозирование самовозгорания угля и эндогенных пожаров на угольных шахтах / А. Е. Троп, В. В. Матвеев // Безопасность труда в промышленности. – 2000. – № 6. – С. 52 – 54.

Trop, A. Ye., Matveyev, V. V. *Prognozirovanie samovozgoraniya uglya i endogennykh pozharov na ugolnykh shakhtakh* [Prediction of coal spontaneous combustion and spontaneous fires in coal mines]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, 2000, no. 6, pp. 52-54. (In Russian)

4. Динамика температуры самонагревания скопления угля / С. П. Греков, П. С. Пашковский, Б. И. Кошовский, Я. Цыганкевич, А. А. Березовский // Пожарная безопасность – 2001 : сборник научных трудов. – Львов : Сполом, 2001. – С. 489 – 490.

Grekov, S. P., Pashkovskiy, P. S., Koshovskiy, B. I., Tsygankevich, Ya. *Dinamika temperatury samonagrevaniya skopleniya uglya* [Dynamics of spontaneous heating temperature of coal accumulation]. *Pozharnaya bezopasnost – 2001 : collection of scientific papers*. Lvov, Spolom Publ., 2001, pp. 489-490. (In Russian)

5. Головченко, Е. А. Химическая активность угля и его инкубационный период самовозгорания при образовании скоплений угольной пыли / Е. А. Головченко // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2020. – № 4(57). – С. 66 – 72.

Golovchenko, Ye. A. *Khimicheskaya aktivnost uglya i yego inkubatsionnyy period samovozgoraniya pri obrazovanii skopleniy ugolnoy pyli* [Chemical activity of coal and its spontaneous combustion incubation period in case of coal dust accumulations formation]. *Nauchnyy vestnik NIIGD “Respirator”*, 2020, no. 4(57), pp. 66-72. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. Г. Агеевым
Дата поступления рукописи 23.11.2023

Konstantin Nikolayevich Labinskiy, Dr. Sci. (Tech.), associate professor; e-mail: science.donntu@mail.ru
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Donetsk national technical university»

283001, Donetsk, 58, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (949) 303-61-83

Yevgeny Aleksandrovich Golovchenko, Cand. Sci. (Tech.), head of department; e-mail: ennio_80@mail.ru;

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

e-mail: respirator@80mchs.gov.ru

Federal State Institution “The Scientific Research Institute “Respirator” EMERCOM of Russia”

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phones: +7 (856) 332-78-83; +7 (949) 340-97-96

Stanislav Aleksandrovich Kalyakin, Dr. Sci. (Tech.), professor; e-mail: yglenit@gmail.com

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education

«Donetsk national technical university»

283001, Donetsk, 58, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (949) 399-14-71

RELATIONSHIP BETWEEN SPONTANEOUS COMBUSTION TEMPERATURE OF COAL AEROSOL AND CHEMICAL ACTIVITY OF DUST SURFACE

Objective. To determine how the coal dust nanoparticles spontaneous combustion temperature depends on the critical oxidation rate constant in order to assess the hazard of spontaneous combustion process development.

Methods. Experimental and analytical studies of the critical oxidation rate constant and the levels of combustion and spontaneous combustion of coal dust nanoparticles taken from different coal seams of the Donets coalfields.

Results. The conducted studies showed that the larger part of the coal seams form the coal dust which chemical activity exceeds the one of the coals in the massif. The relationships between the coal dust combustion and spontaneous combustion temperature, the critical oxidation rate constant and the coal dust faction size were determined.

Scientific novelty. For the first time ever the relationships between the combustion and spontaneous combustion temperature and the oxidation rate constant were established for the coal dust nanoparticles. The relationships demonstrate the significant effect of the chemical activity on the fire and explosion hazard of coal dust.

Practical value. The derived results should be considered in the assessment of the hazard of spontaneous combustion development in cases where there is a possibility of coal dust accumulations formation during conduction of mining works. The established relationships of the combustion and spontaneous combustion temperature of coal dust make it possible to increase the accuracy of assessing the fire and explosion hazard properties of the coal dust nanoparticles and the fire safety of the mining works.

Keywords: *coal spontaneous combustion; coal chemical activity; coal dust accumulations; coal; nanoparticle; fire and explosion hazard; combustion temperature; spontaneous combustion temperature.*

Citation: Labinskiy K. N., Golovchenko Ye. A., Mamayev V. V., Kalyakin S. A. Zavisimost temperatury samovosplameneniya ugolnogo aerolya ot khimicheskoy aktivnosti poverkhnosti pyli [Relationship between spontaneous combustion temperature of coal aerosol and chemical activity of dust surface]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2023, no. 4(60), pp. 7-16. EDN AOHXUI.

УДК [622.822.24:622.411.3]:001.891.572

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

Ирина Геннадьевна Старикова, канд. техн. наук, уч. секр.; e-mail: ir-starik@yandex.ru;

Александр Владиславович Агарков, канд. техн. наук, нач. отд.; e-mail: aleksander_agarkov@mail.ru

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-39

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАССОПЕРЕНОСА В ГОРНОЙ ВЫРАБОТКЕ ШАХТЫ ПРИ ЭКЗОГЕННОМ ПОЖАРЕ

Цель. Исследование процесса массопереноса в горной выработке шахты при экзогенном пожаре и установление зависимостей скорости распространения пожарных газов для стационарных процессов массопереноса в зависимости от условий проветривания с учетом совокупного влияния различных горнотехнических условий для разработки метода прогноза газовой динамики в горных выработках при пожаре.

Методы. Использован комплексный метод исследования, включающий научно-технический анализ литературных источников и проведение теоретических исследований. Выполнено математическое моделирование с использованием фундаментальных законов массопереноса, теории дифференциальных уравнений и численных методов их решения, методов математической статистики для обработки результатов исследований. Обработка результатов исследований осуществлялась с использованием прикладных компьютерных программ: Microsoft Office, Mathcad, MatLab и Origin.

Результаты. Разработана математическая модель процесса массопереноса в аварийных участках шахт, позволяющая получать численным методом достоверные данные о стационарных процессах переноса газов в горных выработках с источниками газовыделения при пожарах.

Научная новизна. Установлены зависимости скорости распространения пожарных газов, определяющих обстановку в горной выработке и используемых для описания процесса массопереноса в рамках математической модели, с учетом условий проветривания, геометрических размеров выработки, коэффициентов массопереноса, наличия источников газовыделения в условиях пожара, что позволило дополнить используемые ранее методы прогноза загазования выработок шахт при авариях.

Практическая значимость. Предложенный метод прогноза скорости загазования горных выработок при возникновении очага пожара может быть использован при разработке нормативных и методических документов для применения горноспасательными подразделениями при ведении аварийно-спасательных работ в шахтах.

Ключевые слова: угольная шахта; горная выработка; экзогенный пожар; процесс массопереноса; пожарные газы.

Для цитирования: Долженков А. Ф., Старикова И. Г., Агарков Ал. В. Исследование процесса массопереноса в горной выработке шахты при экзогенном пожаре // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 4(60). – С. 17–27. EDN EFCOEN.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Эффективная работа горнодобывающей промышленности – одна из ключевых ветвей развития экономики России [1].

Несмотря на принимаемые ежегодно меры по совершенствованию промышленной безопасности, угольная отрасль на сегодня остается потенциально опасной по возникновению чрезвычайных ситуаций.

Согласно статистическому анализу данных федерального государственного казенного учреждения «Военизированная горноспасательная часть Донецкой Народной Республики», на объектах, обслуживаемых подразделениями части, за последние 20 лет произошло 2120 аварий и аварийных ситуаций, из них 336 подземных пожаров экзогенного и эндогенного происхождения (в среднем – 16 пожаров в год). По частоте возникновения пожары в шахтах составляют 45 % всех подземных аварий (рис. 1).

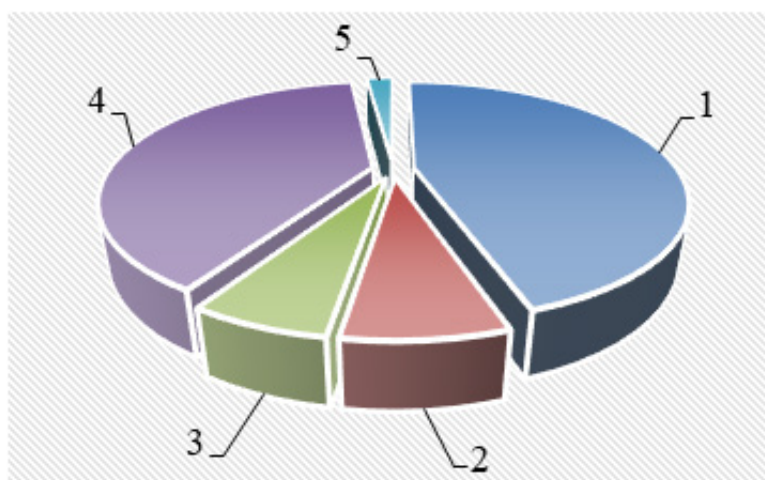


Рис. 1. Распределение подземных аварий по видам (2000–2020 гг.):

- 1 – подземные пожары (45 %); 2 – взрывы газа и угольной пыли (7,4 %); 3 – внезапные выбросы угля, породы и газа (6,3 %); 4 – обрушения выработок (39,3 %); 5 – затопления выработок (2 %)

Следует отметить, что среднегодовое количество подземных пожаров на шахтах Донбасса в настоящее время имеет тенденцию к снижению. Отчасти это связано с реструктуризацией и сокращением количества действующих угольных шахт. Однако доля этого вида подземных аварий в процентном соотношении все же занимает лидирующую позицию.

Экзогенные пожары в шахтах могут осложняться взрывами газозвдушной смеси, при этом застигнутые аварией люди подвергаются угрозе поражения взрывной волной, а также опасности отравления ядовитыми продуктами взрыва. Причины образования в горных выработках взрывчатых газовых смесей: нарушение режима проветривания, усиление образования и выделения горючих газов (метана, оксида углерода, водорода и др.). Соответственно, при ликвидации пожаров возникают условия, опасные для жизни горноспасателей.

В настоящее время для обеспечения безопасности проводят дистанционный контроль шахтной среды, чтобы получить данные о газовой обстановке, а именно о содержании горючих и взрывоопасных газов в аварийных участках

(горных выработках) [2 – 4]. Но применяемый способ и технические средства не позволяют осуществить прогноз массопереноса по длине горных выработок аварийных участков шахт при пожарах, их используют исключительно для контроля газовой среды.

Анализ последних исследований и публикаций. Теоретическим и экспериментальным исследованиям поля концентраций газов в горных выработках шахт при пожарах посвящены научные труды ведущих ученых: В. Г. Агеева, И. Е. Болбата, А. М. Брюханова, А. С. Голика, С. П. Грекова, В. М. Жадана, И. Н. Зинченко, С. С. Кобылкина, М. В. Кравченко, Н. М. Кравченко, В. И. Лебедева, Н. В. Малеева, В. Н. Медведева, С. Н. Осипова, Д. Ю. Палеева, П. С. Пашковского, К. З. Ушакова и других.

При изучении динамики подземного пожара авторами экспериментально определены максимальная температура пожарных газов в очаге горения, скорость перемещения очага горения по выработке в зависимости от скорости вентиляционного потока, величина зоны горения, температура пожарных газов по длине выработки и состав пожарных газов. К. З. Ушаков в работе [5] изложил обобщенные результаты многочисленных экспериментальных и теоретических исследований в области газовой динамики шахт, рассмотрел газодинамические характеристики вентиляционных потоков, процессы переноса газов и образования слоевых скоплений метана в горных выработках.

В работе [6] представлены результаты теоретических исследований распределения газов по сечению и длине выработок при авариях с использованием уравнения нестационарной конвективной диффузии газов. Предложенная расчетная схема позволяет получать численным методом достоверные данные о нестационарных процессах переноса газов в горных выработках с источниками газовыделения при авариях.

Предлагаемые ранее разными авторами теоретические методы не позволяют в полной мере осуществлять прогноз газовой обстановки в аварийной горной выработке шахты в условиях развившегося пожара, когда градиент концентрации пожарного газа вдоль выработки становится постоянным, а процесс переноса – стационарным (с учетом совокупного влияния горнотехнических факторов, характеризующих геометрические размеры выработки, условия проветривания, коэффициенты массопереноса в условиях пожара, наличие источников газовыделения и др.), что представляет собой актуальное направление теоретических исследований.

Цель работы – исследование процесса массопереноса в горной выработке шахты при экзогенном пожаре и установление зависимости скорости распространения пожарных газов для стационарных процессов массопереноса в зависимости от условий проветривания с учетом совокупного влияния различных горнотехнических условий для разработки метода прогноза газовой динамики в горных выработках при пожаре.

Результаты исследований. Согласно работе [6] образующиеся в зоне горения пожарные газы будут распространяться по потоку воздуха и против него под действием турбулентной диффузии и конвекции. Для исследования распространения пожарных газов, в частности оксида углерода, используем уравнение сохранения компоненты газовой смеси за пределами очага пожара, аналогичное уравнению (11) из работы [7]

$$\rho \left(\frac{\partial Z}{\partial \tau} + u \frac{\partial Z}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho D \frac{\partial Z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho D \frac{\partial Z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho D \frac{\partial Z}{\partial z} \right), \quad (1)$$

где ρ – плотность газа, кг/м³;

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

τ – время с момента возникновения пожара, с;

u – начальная скорость воздуха по сечению горной выработки, м/с;

x – продольная координата в горной выработке, м;

y – вертикальная координата в горной выработке, м;

z – поперечная координата в горной выработке, м;

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

Для наиболее опасного случая уже развившегося пожара и установившегося (стационарного) режима уравнение (1) можно представить в виде

$$\rho u \frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho D \frac{\partial Z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho D \frac{\partial Z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho D \frac{\partial Z}{\partial z} \right). \quad (2)$$

Разделим левую и правую части уравнения (2) на плотность воздуха при нормальных условиях и получим

$$\tilde{u} \frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\tilde{D} \frac{\partial Z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\tilde{D} \frac{\partial Z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\tilde{D} \frac{\partial Z}{\partial z} \right), \quad (3)$$

где $\tilde{u}$ – средняя по сечению выработки скорость воздуха, м/с;

$\tilde{D} = \rho D / \rho_0$ – приведенный коэффициент турбулентной диффузии пожарного газа, м²/с, где ρ_0 – плотность воздуха, кг/м³.

Примем приведенный коэффициент турбулентной диффузии за константу и приведем уравнение (3) к виду

$$\tilde{u} \frac{\partial Z}{\partial x} = \tilde{D} \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 Z}{\partial z^2} \right). \quad (4)$$

Представим второе и третье слагаемые в правой части уравнения (4) в конечных разностях

$$\tilde{u} \frac{\partial Z}{\partial x} = \tilde{D} \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} + 2 \frac{Z_0 - Z}{\Delta y^2} + 2 \frac{Z_0 - Z}{\Delta z^2} \right), \quad (5)$$

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

Δy – ширина горной выработки, м;

Δz – высота горной выработки, м.

Примем поперечные размеры (высоту и ширину) горной выработки примерно одинаковыми ($\Delta y \approx \Delta z$) и приведем уравнение (5) к виду

$$\tilde{u} \frac{\partial Z}{\partial x} = \tilde{D} \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} + 4\tilde{D} \frac{Z_0 - Z}{\Delta y^2}. \quad (6)$$

За коэффициент газообмена со стенками выработки примем выражение $\gamma = 4\tilde{D} / \Delta y^2$, с⁻¹. Тогда уравнение (6) примет вид

$$\tilde{u} \frac{\partial Z}{\partial x} = \tilde{D} \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} + \gamma(Z_0 - Z). \quad (7)$$

Расчет проводим так же, как и в случае с прогнозированием динамики температуры в горной выработке при экзогенном пожаре [6, 7]. Тогда характеристическое уравнение, эквивалентное уравнению (7), представим в виде

$$m^2 - \frac{\tilde{u}}{\gamma} m - \frac{\gamma}{\tilde{D}} = 0, \quad (8)$$

где m – номер соответствующего узла по пространственной координате x (длина выработки) согласно работе [6].

Его корни равны

$$m_{1,2} = \frac{\tilde{u}}{2\gamma} \pm \sqrt{\left(\frac{\tilde{u}}{2\gamma}\right)^2 + \frac{\gamma}{\tilde{D}}} = 0. \quad (9)$$

Таким образом, решение уравнения (7) за пределами зоны горения будет иметь вид

$$Z(x) = Z_0 + A_1 \exp(m_1 x) + A_2 \exp(m_2 x), \quad (10)$$

где A_1, A_2 – константы интегрирования.

Примем, как и ранее, температуру по всей длине зоны горения одинаковой, тогда коэффициенты $A_1 = A_2 = Z_1$ (концентрация пожарного газа в зоне горения, %). Начало отсчета примем в начале зоны горения. Поскольку $x \rightarrow \infty$, то концентрация далеко за пределами очага стремится к фоновой концентрации воздуха. Тогда концентрация пожарного газа за зоной горения ($\tilde{u} > 0$) и перед зоной ($\tilde{u} < 0$) может быть определена по формуле

$$Z(x) = Z_0 + (Z_1 - Z_0) \exp \left[\left(\frac{\tilde{u}}{2\tilde{D}} - \sqrt{\frac{\tilde{u}^2}{4\tilde{D}^2} + \frac{\gamma}{\tilde{D}}} \right) x \right]. \quad (11)$$

Представим концентрацию пожарного газа в безразмерном виде $\bar{Z}$

$$\bar{Z} = \frac{Z - Z_0}{Z_1 - Z_0} = \exp \left[\left(\frac{\tilde{u}}{2\tilde{D}} - \sqrt{\frac{\tilde{u}^2}{4\tilde{D}^2} + \frac{\gamma}{\tilde{D}}} \right) x \right]. \quad (12)$$

Таким образом, задав исходные параметры, можно по формулам (11) или (12) найти распределение газов по всей длине выработки с очагом пожара. Согласно данным настоящих исследований и результатам расчета по формуле (2.14) из работы [5] на рисунке 2 представлены профили относительной концентрации пожарного газа (в качестве примера взят оксид углерода) на разных расстояниях перед и за очагом пожара при средних скоростях движения воздуха $\tilde{u} = 0,6$ м/с; 1,0 м/с; 1,2 м/с и приведенном коэффициенте турбулентной диффузии пожарного газа $\tilde{D} = 5$ м²/с. По оси ординат отложена безразмерная концентрация пожарного газа $\bar{Z}$. Поэтому представленные зависимости применимы к любому из газов, генерируемому очагом пожара.

Результаты расчета показывают, что проветривание аварийного участка или горной выработки практически не позволяет пожарным газам распространяться в направлении против вентиляционной струи (согласно результатам исследований зона распространения газов при скорости движения воздуха 0,6...1,2 м/с составляет 10 м).

В то же время по направлению вентиляционной струи пожарные газы распространяются быстро (со скоростью потока воздуха). Учитывая данный фактор, можно предположить, что нарастание концентрации пожарного газа при проветривании аварийного участка в целом или отдельной горной выработки происходит практически одинаково и одновременно по всей высоте выработки при условии, что она неизменна. Для описания изменения температуры и концентраций пожарных газов в выработке используются математические модели (1) – (13) из работы [7] и (1) – (12) настоящей статьи. Сравнив профили температуры и концентрации газа, приходим к выводу, что они подобны.

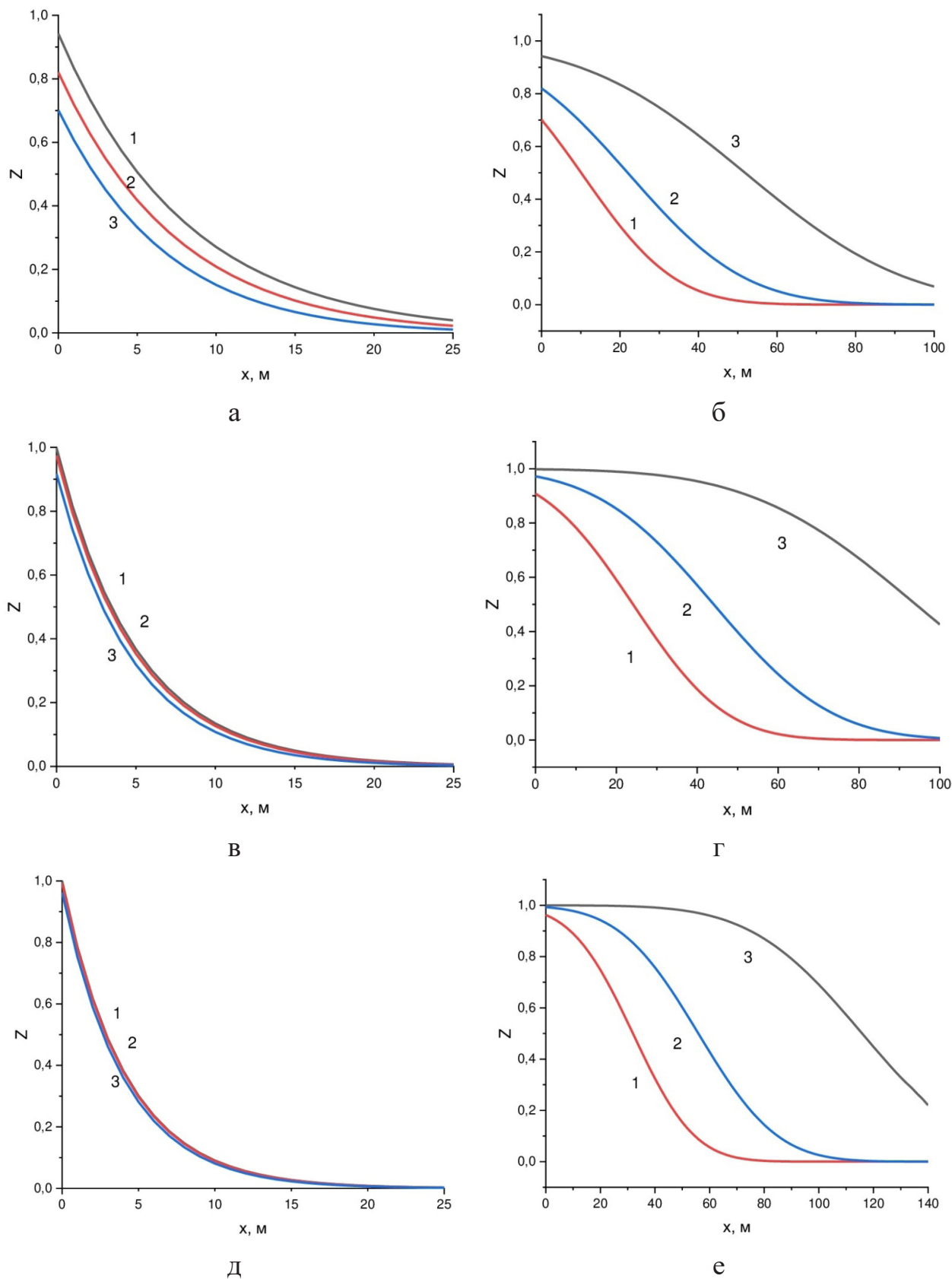


Рис. 2. Распределение относительной концентрации оксида углерода по длине выработки перед (а, в, д) и за (б, г, е) очагом пожара по направлению струи воздуха при скорости воздуха 0,6 (а, б); 1,0 (в, г); 1,2 м/с (д, е):
1 – через 30 с после начала возгорания; 2 – через 50 с; 3 – через 100 с

В целом профили распределения температуры и концентраций пожарных газов схожи между собой, но наблюдаются существенные отличия в их оценке. Следует учитывать, что небольшое изменение концентрации пожарного газа (например, оксида углерода) может вызывать существенную угрозу безопасности ведения горноспасательных работ. В то же время повышение температуры на несколько градусов существенных изменений не вызывает, но является признаком развития пожара.

С практической точки зрения предложенная методика, в сравнении с другими [4 – 8], позволяет определять стационарный уровень распространения газов по горной выработке шахты при возникновении очага пожара.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Анализ аварийности на предприятиях угольной промышленности показал, что особую опасность в шахтах представляют пожары (45 % подземных аварий), при ликвидации которых возникают условия, опасные для жизни горноспасателей.

Установленные зависимости скорости распространения пожарных газов для стационарных процессов массопереноса учитывают условия проветривания, геометрические размеры выработки, коэффициенты массопереноса при пожаре и могут быть использованы горноспасательными подразделениями для определения динамики пожарных газов от очага пожара до места дистанционного контроля газовой обстановки в аварийных горных выработках или аварийных участках.

Исследование процесса массопереноса в выработке при экзогенном пожаре позволило определить, как образующиеся в зоне горения пожарные газы распространяются по потоку воздуха и против него под действием турбулентной диффузии и конвекции. Предложенная методика позволяет описывать перенос газов в условиях развившегося пожара и находить распределение концентраций газов по всей длине выработки с очагом пожара.

Перспективное направление дальнейших исследований – сравнение результатов теоретических исследований, представленных в настоящей статье, с экспериментальными данными динамики развития пожаров в шахтах, разработка двух- и трехмерных моделей тепло- и массопереноса в горных выработках при пожарах с учетом стока тепла, а также поглощения и осаждения пожарных газов на стенках. Исследования тепломассообменных процессов должны быть основаны на рассмотрении тупиковых выработок и выемочных участков (учитывая выработанные пространства).

Список литературы / References

1. Яновский, А. Б. Основные тенденции и перспективы развития угольной промышленности России / А. Б. Яновский // Уголь. – 2017. – № 8. – С. 10 – 14.

Yanovskiy, A. B. *Osnovnye tendentsii i perspektivy razvitiya ugolnoy promyshlennosti Rossii* [Main trends and prospects of Russia's coal mining industry development]. *Ugol*, 2017, no. 8, pp. 10-14. (In Russian)

2. Голик, А. С. Система мониторинга атмосферы локальных объектов (СМАЛО) для газового контроля горноспасателями в аварийных условиях шахт / А. С. Голик, О. С. Токарев // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – № 1.2. – С. 69 – 72.

Golik, A. S., Tokarev, O. S. *Sistema monitoringa atmosfery lokalnykh obyektov (SMALO) dlya gazovogo kontrolya gornospasatelyami v avariynnykh usloviyakh shakht* [System of local objects environment monitoring (SMALO) for gas levels management by the mine-rescuers in conditions of accidents in coal mines]. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti*, 2013, no. 1.2, pp. 69-72. (In Russian)

3. Tube bundle system for monitoring of coal mine atmosphere / NCBI : PMC US National Library of Medicine National Institutes of Health. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4545479/> (дата обращения: 12.10.2023).

4. Медведев, В. Н. Развитие научных основ и совершенствование практики мониторинга содержания метана в рудничной атмосфере : специальность 05.26.01 «Охрана труда (по отраслям)» (технические науки) : диссертация на соискание степени доктора технических наук / Медведев Валерий Николаевич ; МакНИИ. – Макеевка, 2013. – 330 с. – Место защиты: МакНИИ.

Medvedev, V. N. *Razvitie nauchnykh osnov i sovershenstvovanie praktiki monitoringa sodержaniya metana v rudnichnoy atmosfere : spetsialnost 05.26.01 "Okhrana truda (po otraslyam)" (tekhnicheskie nauki) : dissertatsiya na soiskanie stepeni doktora tekhnicheskikh nauk* [Development of scientific foundations and improvement of mine air methane content monitoring practice : 05.26.01 "Occupational Safety (technical sciences)" specialty : Doctor of Technical Sciences dissertation] / *Medvedev Valery Nikolayevich ; MakNII*. Makeyevka, 2013, 330 p. Thesis defence took place at the MakNII. (In Russian)

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

Ushakov, K. Z. *Gazovaya dinamika shakht. 2-e izd., pererab. i dop.* [Gas dynamics of coal mines. The 2nd edition, revised and supplemented]. Moscow, Moscow State Mining University Press, 2004, 481 p. (In Russian)

6. Агарков, А. В. Повышение эффективности дистанционного контроля газовой обстановки при ведении аварийно-спасательных работ в шахтах : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)» (технические науки) : диссертация на соискание степени кандидата технических наук / Агарков Александр Владиславович ;

ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР». – Донецк, 2022. – 184 с. Место защиты: ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР».

Agarkov, A. V. *Povyshenie effektivnosti distantsionnogo kontrolya gazovoy obstanovki pri vedenii avariynno-spasatelnykh rabot v shkhtakh : spetsialnost 05.26.03 "Pozharnaya i promyshlennaya bezopasnost (tekhnicheskie nauki) : dissertatsiya na soiskanie stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Improvement of gas levels remote monitoring effectiveness during undergoing emergency-rescue operations in coal mines : 05.26.03 "Fire and Industrial Safety" specialty : Candidate of Technical Sciences dissertation] / Agarkov Aleksandr Vladislavovich ; GBU "NII "Respirator" MChS DNR". Donetsk, 2022, 184 p. Thesis defence took place at GBU "NII "Respirator" EMERCOM DPR". (In Russian)

7. Агеев, В. Г. Математическое моделирование теплообменных процессов в горных выработках шахт при пожарах / В. Г. Агеев, А. В. Агарков, А. В. Мавроди // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2023. – № 9. – С. 309 – 312.

Ageyev, V. G., Agarkov, A. V., Mavrodi, A. V. *Matematicheskoe modelirovanie teploobmennyykh protsessov v gornyykh vyrabotkakh shakht pri pozharakh* [Mathematical modeling of heat transfer processes in mine workings of coal mines with undergoing fire]. *Naukoyomkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov*, 2023, no. 9, pp. 309-312. (In Russian)

8. Пашковский, П. С. Единый подход к решению задач теплогазообмена при пожарах на различных объектах / П. С. Пашковский, С. П. Греков, И. Н. Зинченко // ВiTP (Польша). – 2016. – Vol. 44, issue 4. – Pp. 83 – 88.

Pashkovskiy, P. S., Grekov, S. P., Zinchenko, I. N. *Yedinyy podkhod k resheniyu zadach teplogazoobmena pri pozharakh na razlichnykh obyekтах* [Unified approach to solution of heat and gas transfer problems in the course of fires at the various types of objects]. *BiTP* (Poland), 2016, vol. 44, issue 4, pp. 83-88. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 30.10.2023

Anatoly Filippovich Dolzhenkov, Dr. Sci. (tech.), deputy director (on science);

e-mail: dolzhenkov_52@mail.ru;

Irina Gennadyevna Starikova, Cand. Sci. (Tech.), academic secretary; e-mail: ir-starik@yandex.ru;

Aleksandr Vladislavovich Agarkov, Cand. Sci. (Tech.), head of department;

e-mail: aleksander_agarkov@mail.ru

Federal State Institution "The Scientific Research Institute "Respirator" EMERCOM of Russia"

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-39

STUDY OF THE MASS TRANSFER PROCESS IN A MINE WORKING UNDER FREELY BURNING FIRE

Objective. Study of the mass transfer process under a freely burning fire in the mine working of a coal mine and investigation of how ventilation conditions affecting the fire gases emission rate for the steady mass transfer processes taking into account the cumulative effect of the various mining and technical factors for the development of gas dynamics prediction technique.

Methods. The integrated method of investigation has been exploited the scientific and technical analysis of the literature sources analysis and conduction of theoretical studies included. The following methodologies have been applied: mathematical modeling along with the application of the basic laws of mass transfer, differential equations theory and numerical methods of their solution, mathematical statistics methods for the investigation results processing. The investigation results have been processed applying the Microsoft Office, Mathcad, MatLab and Origin software.

Results. The mathematical model of the mass transfer process in the accident area of the coal mines has been developed making it possible to obtain the accurate data on the steady processes of gas transfer using numeric method in case of a fire in mine workings with the gas emission sources.

Scientific novelty. The relationships have been derived for the fire gases emission rate determining the conditions in the mine working and being used in the mathematical model for description of mass transfer process factoring in the ventilation conditions, the mine working geometries and orientation, mass transfer coefficients, presence of gas emission sources in conditions of a fire, which made it possible to extend the existed methods of gassy conditions prediction in the mine working during the accidents.

Practical value. The proposed method for predicting the gas emission rate in the mine workings in the process of a fire breaking out may be applied in the development of regulatory and methodological documents for further application in the emergency-rescue operation in coal mines by the mine-rescue units.

Keywords: *coal mine; mine working; freely burning fire; mass transfer process; fire gases.*

Citation: Dolzhenkov A. F., Starikova I. G., Agarkov Al. V. Issledovanie protsessa massoperenosa v gornoy vyrabotke shakhty pri ekzogennom pozhare [Study on the Mass Transfer Process in a Mine Working under Freely Burning Fire]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2023, 4(60), pp. 17–27. EDN EFCOEH.

УДК [544.723.21:547.532]:001.891.572

*Виктория Валентиновна Лебедева, нач. отд.; e-mail: vika.lebedeva.6363@mail.ru;**Ирина Геннадьевна Старикова, канд. техн. наук, уч. секр.; e-mail: ir-starik@yandex.ru;**Игорь Николаевич Непочатых, науч. сотр.; e-mail: tamdoka@mail.ru;**Олег Владимирович Храпоненко, науч. сотр.; e-mail: olghrap@mail.ru**Федеральное государственное казенное учреждение**«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»**283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-55*

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ АВАРИЙНЫХ ПРОЛИВОВ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

Цель. Исследование сорбционных свойств двух- и трехкомпонентных смесей на основе длиннопламенного газового угля, котельного шлака и древесных опилок для выбора компонентного состава композиционного материала с улучшенными сорбционными свойствами для нейтрализации аварийных проливов химически опасных веществ.

Методы. Определение сорбционной емкости материалов в статических условиях эксперимента с применением гравиметрического метода. Симплекс-решетчатый метод математического планирования эксперимента для оптимизации состава композиционного материала.

Результаты. Определена сорбционная емкость по бензолу образцов длиннопламенного газового угля, котельного шлака фракции размером 0,315...0,5 мм и древесных опилок – 2...3 мм, их бинарных и трехкомпонентных смесей. Разработана математическая модель полинома неполного третьего порядка для аналитического описания зависимости «состав – свойство» двух- и трехкомпонентных сорбентов.

Научная новизна. Впервые предложена математическая модель аналитической зависимости «состав – свойство» для расчета оптимального компонентного состава композиционного сорбционного материала.

Практическая значимость. Результаты экспериментальных исследований можно применять при оптимизации рецептур материалов, предназначенных для локализации зон аварийных проливов химически опасных веществ и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах.

Ключевые слова: длиннопламенный газовый уголь; древесные опилки; композиционный материал; метод симплекс-решетчатого планирования; полином; сорбционная емкость; шлак котельный; чрезвычайная ситуация.

Для цитирования: Лебедева В. В., Старикова И. Г., Непочатых И. Н., Храпоненко О. В. Композиционный материал для нейтрализации аварийных проливов химически опасных веществ // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 4(60). – С. 28–35. EDN FRZAPU.

Постановка проблемы. Качество и результативность мероприятий по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах, связанных с аварийными проливами токсичных веществ, во многом зависят от применения эффективных пористых материалов, предназначенных для локализации зоны пролива и поглощения опасных веществ. Эффективность таких материалов определяется их сорбционной емкостью.

Применение активированных углей и синтетических полимерных сорбентов, обладающих высокой поглощающей способностью, для локализации масштабных аварийных проливов токсичных веществ нерентабельно ввиду их слишком высокой стоимости или дефицита. В связи с этим своевременна и актуальна разработка недорогих материалов на основе доступного сырья, обладающих достаточно высокой сорбционной емкостью и составляющих альтернативу дорогим дефицитным активированным углям и полимерным сорбентам.

Анализ последних исследований. Для более точной разработки рецептуры композиционного материала можно использовать методы прикладной математики, в том числе планирование эксперимента и статистическую обработку данных. В публикациях [1–3] дан обстоятельный анализ математических методов описания зависимостей «состав – свойство» для многокомпонентных систем. Наиболее простой из них – правило аддитивности, то есть вычисление исследуемого свойства системы, состоящей из двух или более компонентов, по сумме аналогичных свойств каждого из компонентов с учетом доли их участия в системе. Анализ результатов научных исследований показывает, что разработке рецептур сорбционных композиционных материалов на основе каменных углей и промышленных отходов отводится незначительное внимание. Поэтому изучение влияния компонентного состава на сорбционные свойства материалов – актуальная научная и практическая задача.

Цель и задачи работы – исследование сорбционных свойств двух- и трехкомпонентных смесей на основе длиннопламенного газового угля, котельного шлака и древесных опилок для выбора компонентного состава композиционного материала с улучшенными сорбционными свойствами для нейтрализации аварийных проливов химически опасных веществ.

В задачи настоящего исследования входит:

- проведение экспериментов по установлению входных параметров сорбентов (компонентный состав композиций) и определению выходных (сорбционная емкость);
- расчет на основании экспериментальных данных математической модели двух- и трехкомпонентных композиций для аналитического описания их сорбционных свойств;
- вычисление ошибки эксперимента, проверка адекватности полученной математической модели.

Изложение основного материала. В качестве объектов исследования взяты образцы каменного угля марки ДГ (длиннопламенный газовый), котельного шлака фракции 0,315...0,5 мм и древесных опилок фракции 2...3 мм как наиболее перспективные материалы с наибольшими значениями статической сорбционной емкости по бензолу [4, 5].

Содержание исходных компонентов выражено в массовых долях, что наиболее соответствует реальной технологии приготовления композиционных

материалов. Композиции готовились таким образом, чтобы выполнялось условие

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1,$$

где x_1 – содержание шлака в смеси, масс. доля;

x_2 – содержание угля марки ДГ в смеси, масс. доля;

x_3 – содержание опилок в смеси, масс. доля.

Сорбционную емкость по бензолу образцов угля марки ДГ, шлака, опилок, а также двух- и трехкомпонентных композиций на их основе a , г/г, определяли ускоренным гравиметрическим методом и рассчитывали, используя формулу

$$a = \frac{m_6}{m_0},$$

где $m_6 = (m_1 - m_0)$ – масса сорбированного бензола, г;

m_1 – масса пробы после обработки бензолом, г;

m_0 – масса пробы до обработки бензолом, г.

В качестве входного фактора принят состав композиций с различным содержанием и соотношением исходных компонентов, выходного – средние результаты значений сорбционной емкости по бензолу композиций по трем параллельным экспериментам ($\hat{a}$). Для описания аналитической зависимости «состав – свойство» в работе использован симплекс-решетчатый план полинома неполного третьего порядка. План эксперимента и полученные значения сорбционной емкости представлены в таблице 1.

Таблица 1

Симплекс-решетчатый план полинома неполного третьего порядка для системы шлак (x_1) – уголь (x_2) – опилки (x_3) – сорбционная емкость (a_i)

Номер опыта	Входной фактор			Выходной фактор, сорбционная емкость a , г/г					Дисперсия опыта s_o^2	Расчет a_p
	компонентный состав, масс. доля			$\bar{a}$	эксперимент					
	x_1	x_2	x_3		a_1	a_2	a_3	$\hat{a}$		
1	1	0	0	a_1	1,06	1,10	1,09	1,08	0,000867	1,08
2	0	1	0	a_2	0,71	0,74	0,72	0,72	0,000467	0,72
3	0	0	1	a_3	6,70	6,48	6,67	6,62	0,0258	6,62
4	0,5	0,5	0	a_{12}	0,97	0,98	0,90	0,95	0,0038	0,95
5	0,5	0	0,5	a_{13}	3,37	3,68	3,98	3,68	0,186067	3,68
6	0	0,5	0,5	a_{23}	3,61	3,24	3,09	3,31	0,143267	3,31
7	0,333	0,333	0,333	a_{123}	2,99	2,88	2,87	2,91	0,008867	2,91

На основе полученных данных (табл. 1) вычислены дисперсии семи серий параллельных опытов по формуле

$$s_0^2 = \sum_{i=1}^N (a_i - \hat{a})^2, \quad (1)$$

где a_i – значение сорбционной емкости i -го опыта, г/г;

$\hat{a}$ – среднее арифметическое значение сорбционной емкости серии параллельных опытов, г/г.

Используя полученные средние значения сорбционной емкости по бензолу (табл. 1) для полинома неполного третьего порядка вида

$$a = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (2)$$

коэффициенты уравнения (2) вычислим по формулам

$$\begin{aligned} \beta_1 &= a_1, \beta_2 = a_2, \beta_3 = a_3; \\ \beta_{12} &= 4a_{12} - 2a_1 - 2a_2; \\ \beta_{13} &= 4a_{13} - 2a_1 - 2a_3; \\ \beta_{23} &= 4a_{23} - 2a_2 - 2a_3; \\ \beta_{123} &= 27a_{123} - 12(a_{12} + a_{13} + a_{23}) + 3(a_1 + a_2 + a_3). \end{aligned}$$

Все расчеты произведены в Microsoft Excel, в результате чего вычислены коэффициенты уравнения (2) и получено следующее уравнение полинома неполного третьего порядка

$$\begin{aligned} a = & 1,08 * \text{engine cinder} (x_1) + 0,72 * \text{coal} (x_2) + 6,62 * \text{sawdust} (x_3) + 0,2 * \text{engine} \\ & \text{cinder} (x_1) * \text{coal} (x_2) - 0,68 * \text{engine cinder} (x_1) * \text{sawdust} (x_3) - 1,44 * \text{coal} \\ & (x_2) * \text{sawdust} (x_3) + 8,55 * \text{engine cinder} (x_1) * \text{coal} (x_2) * \text{sawdust} (x_3), \quad (3) \end{aligned}$$

где engine cinder (x_1) – содержание шлака, масс. доля;

coal (x_2) – содержание угля, масс. доля;

sawdust (x_3) – содержание опилок, масс. доля.

Вычисленные на основе полинома (3) значения сорбционной емкости для всех семи исходных композиций приведены в таблице 1. Для проверки адекватности полученной математической модели (3) дополнительно выбраны четыре контрольные композиции. Результаты проведенных экспериментов и полученные расчетные значения сорбционной емкости приведены в таблице 2.

На диаграмме (рис.) на примере четырех контрольных составов (табл. 2) наглядно показан вклад составляющих (ряд 1 – 8) в полином неполного третьего порядка (3).

Таблица 2

Исходные данные и результаты проверки адекватности модели (2)

Номер опыта	Компонентный состав, масс. доля			Значение a по эксперименту, г/г				Расчетное значение a_p , г/г	Δa , г/г	Критерий Стьюдента (расчетный) t_p
	x_1	x_2	x_3	a_1	a_2	a_3	$\hat{a}$			
1	0,375	0,375	0,250	2,53	2,95	2,26	2,58	2,46	0,12	0,94
2	0,375	0,250	0,375	3,01	3,19	3,36	3,19	3,16	0,03	0,23
3	0,400	0,300	0,300	2,36	3,06	2,68	2,70	2,76	0,06	0,46
4	0,600	0,300	0,100	1,50	1,85	1,72	1,69	1,63	0,06	0,51

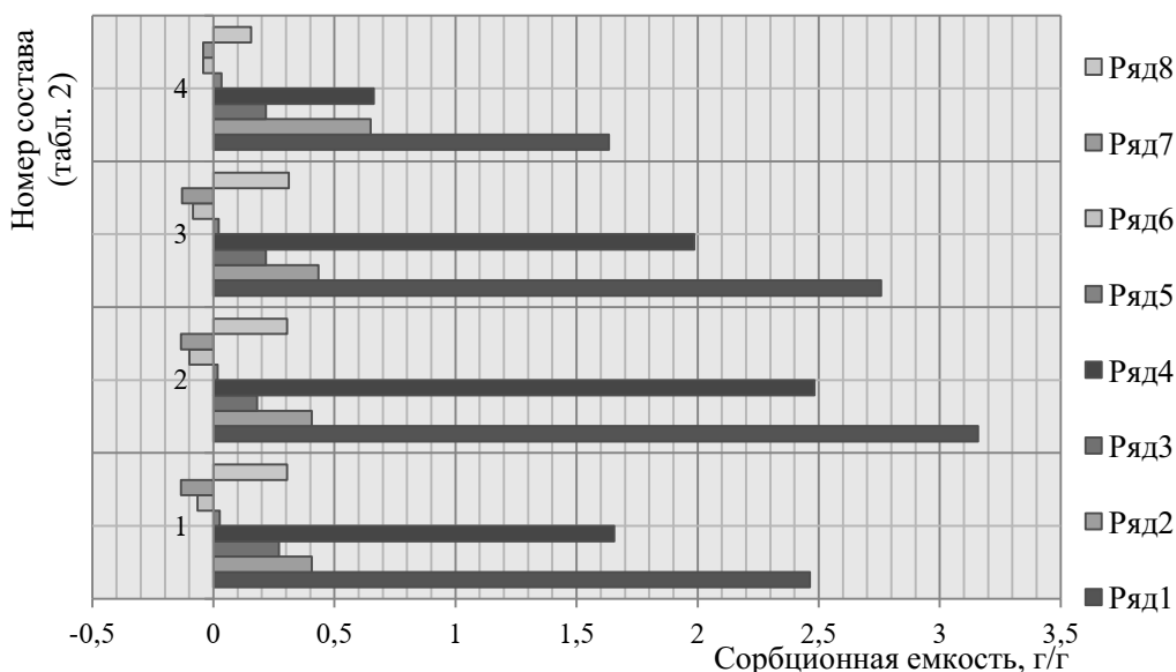


Рис. Диаграмма зависимости вклада составляющих (ряд 1 – 8) в полином неполного третьего порядка (3)

Общее расчетное значение сорбционной емкости показывает ряд 1. Ряды 2 – 4 соответствуют вкладам линейной части ($1,08x_1$; $0,72x_2$; $6,62x_3$) полинома в расчетное значение сорбционной емкости. Ряды 5 – 7 демонстрируют вклады нелинейной части квадратичной составляющей ($0,2x_1x_2$; $-0,68x_1x_3$; $-1,44x_2x_3$), ряд 8 – кубической составляющей ($8,55x_1x_2x_3$) полинома в расчетное значение сорбционной емкости контрольных композиций.

Как видно из диаграммы, основной вклад в расчетное значение сорбционной емкости (94...98 %) вносит линейная часть полинома. В линейной части преобладает вклад третьего компонента (x_3 – опилки) – он составляет от 40 (опыт 4) до 81 % (опыт 2) соответствующего расчетного значения сорбционной

емкости. Антагонизм наблюдается для нелинейной части полинома, он связан с квадратичными коэффициентами, содержащими компоненты x_1 (шлак) и x_2 (уголь). Синергизм для нелинейной части полинома определяется кубическим коэффициентом β_{123} (величина отклика при этом составляет 9...13 % по сравнению с расчетным значением сорбционной емкости).

Адекватность полученной модели оценили с помощью критерия Стьюдента t_p по формуле

$$t_p = \frac{\Delta a \sqrt{m}}{s_0^2 \sqrt{1 + \xi}},$$

где $\Delta a = (a_s - a_p)$ – разность между экспериментальными и рассчитанными по уравнению (2) значениями сорбционной емкости, г/г;

m – число параллельных опытов в каждой точке;

s_0 – дисперсия воспроизводимости, определенная по соотношению (1);

ξ – величина, связанная с коэффициентом уравнения (для указанных составов была снята с треугольника изолиний для полинома неполного третьего порядка).

Результаты расчета критерия Стьюдента для приведенных контрольных композиций показаны в таблице 2. При уровне значимости $p = 0,05$ и числе степеней свободы $f = m - 1$ табличное значение критерия Стьюдента ($t_{\text{табл}}$) равно 2,23. Таким образом, для всех контрольных точек соблюдается неравенство $t_p \leq t_{\text{табл}}$ (табл. 2), что свидетельствует об адекватности разработанной модели.

Выводы. Исследованы сорбционные свойства и экспериментально подтверждена возможность применения природных пористых материалов – длиннопламенного газового угля, котельного шлака и древесных опилок в качестве исходных компонентов для приготовления композиционного материала для нейтрализации аварийных проливов химически опасных веществ. Разработана математическая модель описания аналитической зависимости сорбционной емкости по бензолу от состава композиций и изучен вклад каждого компонента в расчетную сорбционную емкость композиционного материала.

Список литературы / References

1. Ахмадиев, Ф. Г. Математическое моделирование и оптимизация «состав – свойство» многокомпонентных смесей / Ф. Г. Ахмадиев, Р. М. Гильфанов // Известия КГАСУ. – 2012. – № 2(20). – С. 289 – 297.

Akhmadiev, F. G., Gilfanov, R. M. *Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya "sostav – svoystvo" mnogokomponentnykh smesey* [Mathematical modeling and optimization of "composition – capacity" multicomponent mixes]. *Izvestiya KGASU*, 2012, no. 2(20), pp. 289-297. (In Russian)

2. Джусупкалиева, Р. И. Исследования сорбентов, используемых для очистки нефтезагрязненных территорий / Р. И. Джусупкалиева, А. У. Таубаева // Технические науки в России и за рубежом : материалы VII Международной научной конференции (г. Москва, ноябрь 2017 г.). – М. : Буки-Веди, 2017. – С. 182 – 184. – URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/286/12431> (дата обращения: 20.09.2023).

Dzhusupkalieva, R. I., Taubaeva, A. U. *Issledovaniya sorbentov, ispolzuemykh dlya ochistki neftezagryaznyonnykh territoriy* [Studies of sorbents utilized for cleansing of oil-contaminated territories]. *Tekhnicheskie nauki v Rossii i za rubezhom : materials of the VII International scientific conference (Moscow, November, 2017)*. Moscow, Buki-Vedi Publ., 2017, pp. 182-184. Available at: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/286/12431> (accessed 20.09.2023). (In Russian)

3. Прилепская, Л. Л. Оптимизация состава угольных шихт с использованием методов прикладной математики // Л. Л. Прилепская, В. С. Швед // Вестник КузГТУ. – 2010. – № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-sostava-ugolnyh-shiht-s-ispolzovaniem-metodov-prikladnoy-matematiki> (дата обращения: 19.09.2023).

Prilepskaya, L. L., Shved, V. S. *Optimizatsiya sostava ugolnykh shikht s ispolzovaniem metodov prikladnoy matematiki* [Optimization of coal-charge composition using applied mathematics methods]. *Vestnik KuzGTU*, 2010, no. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-sostava-ugolnyh-shiht-s-ispolzovaniem-metodov-prikladnoy-matematiki> (accessed 19.09.2023).

4. Способность пористых материалов поглощать аварийно химически опасные вещества / А. В. Агарков, А. А. Козлитин, В. В. Лебедева, О. Н. Щербакова // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2019. – № 1(56). – С. 94 – 99.

Agarkov, A. V., Kozlitin, A. A., Lebedeva, V. V., Shcherbakova, O. N. *Sposobnost poristyykh materialov pogloshchat avariyno khimicheski opasnye veshchestva* [Porous materials capacity to adsorb hazardous chemicals able to cause an emergency situation]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator"*, 2019, no. 1(56), pp. 94-99. (In Russian)

5. Агарков, А. В. Эффективность сорбции аварийно химически опасных веществ каменными углями Донецкого региона / А. В. Агарков, А. А. Козлитин, В. В. Лебедева // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2019. – № 3(4). – С. 10 – 15.

Agarkov, A. V., Kozlitin, A. A., Lebedeva, V. V. *Effektivnost sorbtsii avariyno khimicheski opasnykh veshchestv kamennymi uglyami Donetskogo regiona* [The

Donets basin coals effectiveness to adsorb hazardous chemicals able to cause an emergency]. *Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost: problemy i puti sovershenstvovaniya*, 2019, no. 3(4), pp. 10-15. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 21.09.2023

Viktoria Valentinovna Lebedeva, head of department; e-mail: vika.lebedeva.6363@mail.ru;
Irina Gennadyevna Starikova, Cand. Sci. (Tech.), academic secretary; e-mail: ir-starik@yandex.ru;
Igor Nikolayevich Nepochatykh, scientific associate; e-mail: tamdoka@mail.ru;
Oleg Vladimirovich Khraponenko, scientific associate; e-mail: olghrap@mail.ru
Federal State Institution "The Scientific Research Institute "Respirator" EMERCOM of Russia"
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-55

COMPOSITE MATERIAL FOR NEUTRALIZING THE HAZARDOUS CHEMICALS ACCIDENTAL RELEASES

Objective. Study of sorption properties of two- and three-component mixes based on long-flame coal, engine cinder and sawdust for selecting the component composite material with improved sorption capacities for neutralization of accidental releases of hazardous chemicals.

Methods. Determination of materials sorption capacity in the static conditions of the experiment applying the gravimetric method. The simplex-lattice design of the experiment for composite material formula optimization.

Results. The benzene sorption capacity of the samples of long-flame coal, engine cinder with fraction of 0.315...0.5 mm and sawdust with fraction of 2...3 mm, their two- and three-component mixes were determined. The mathematical model of the non-complete third order polynomial for analytical description of the "composition – capacity" relation of the two- and three-component sorbents was comprised.

Scientific novelty. The novel mathematical model of the "composition - capacity" analytical relation was proposed for computation of the optimal component formula of the composite material composition.

Practical value. The results of the experimental studies may be applied for optimization of the formulae materials designed for containing the hazardous chemical accidental spillage areas and eliminating the consequences of emergencies at the chemical hazardous facilities.

Keywords: *long-flame coal; sawdust; composite material; simplex-lattice design; polynomial; sorption capacity; engine cinder; emergency.*

Citation: Lebedeva V. V., Starikova I. G., Nepochatykh I. N., Khraponenko O. V. Kompozitsionnyy material dlya neytralizatsii avariynykh prolivov khimicheskii opasnykh veshchestv [Composite Material for Neutralizing the Hazardous Chemicals Accidental Releases]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2023, 4(60), pp. 28–35. EDN FRZAPU.

II. Безопасность труда

УДК 622.822.22:622.411.5

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

Олег Петрович Пашковский, мл. науч. сотр.; e-mail: kingston-4@mail.ru

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-83; +7 (949) 340-97-96

Геннадий Анатольевич Гусар, канд. техн. наук, доцент; e-mail: gusargan@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Донецкий национальный технический университет»

283001, Донецк, ул. Артема, 58. Тел.: +7 (949) 350-86-75

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ СКОПЛЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Цель. Исследование условий теплообмена угля с окружающей шахтной средой при уменьшении размера частиц угля менее 1...3 мм для определения критической мощности скопления угольной пыли.

Методы. Аналитические исследования теплового процесса, происходящего в оставленном угольном скоплении, с учетом теплопередачи и уменьшения размера частиц угля.

Результаты. На основании предложенной схемы формирования скопления угольной пыли рассмотрен стационарный процесс теплопередачи в шахтную среду и установлена зависимость для определения критической мощности скопления угольной пыли.

Научная новизна. Полученная аналитическая зависимость позволяет определить значение критической мощности оставленного скопления угольной пыли по фактору эндогенной пожароопасности в шахтных условиях.

Практическая значимость. Результаты работы позволяют прогнозировать безопасные условия разработки пластов угля и предупреждать самовозгорание в скоплении угольной пыли.

Ключевые слова: самовозгорание угля; температура самовозгорания; скопление угольной пыли; теплообмен; уголь.

Для цитирования: Головченко Е. А., Пашковский О. П., Гусар Г. А. Определение критической мощности скопления угольной пыли // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 4(60). – С. 36–43. EDN IIWPOV.

Постановка проблемы. Самовозгорание угля – сложный процесс, связанный с условиями теплонакопления и теплоотдачи в окружающую скопление угля среду. Генерация теплоты в результате поглощения кислорода углем происходит во всем объеме скопления, а теплоотдача – через поверхность. Следовательно, самонагревание угля и переход его в самовозгорание зависит от отношения объема скопления к площади его поверхности и происходит только в том случае, когда генерация теплоты превышает его потери в окружающую среду. Такие условия, например, могут быть созданы, когда угольное скопление со всех сторон окружено мощным слоем вмещающих или обрушенных пород.

На практике это подтверждается самовозгоранием только относительно больших скоплений угля в шахтах и на поверхности. Анализ мест и причин происшедших эндогенных пожаров показывает, что наибольшее число самовозгораний угля связано со слоевыми скоплениями, образующимися в результате обрушения угольных пачек и пропластков. Поэтому одна из важнейших задач при определении эндогенной пожароопасности угольного скопления – оценка его критической (наименьшей) мощности, при которой возможно самовозгорание угля. Особую опасность при этом представляет угольная пыль, размеры частиц которой меньше 1 мм, значительное количество такой угольной пыли попадает в выработанное пространство высоконагруженных комплексно-механизированных выемочных участков, где возможны ее массовые скопления с последующим развитием процесса самовозгорания.

Анализ последних исследований. Тепловые процессы, происходящие в скоплении угля, подробно сформулированы и обоснованы П. С. Пашковским [1] на основании уравнения теплового баланса В. С. Веселовского. Однако, чтобы воспользоваться данным уравнением на практике, необходимо знать критериальные соотношения между величинами, характеризующими генерацию теплоты, и теплопроводными свойствами данного скопления угля и вмещающих пород, которые определяют процесс самонагрева. Эти соотношения могут быть исследованы с помощью математических моделей, описывающих распределение во времени и в пространстве температурного поля в угольном скоплении.

В работе [2] предлагается математическая модель процесса самонагрева угля, позволяющая установить критерии эндогенного процесса при возникающих в шахте условиях. К недостатку данной модели следует отнести принимаемую линейную зависимость теплоты от температуры, генерируемой в единицу времени, причем угловой коэффициент этой линейной функции зависит не от текущей концентрации кислорода, а от некоторой средней. Это позволяет разделить систему дифференциальных уравнений, линеаризовать их и получить аналитические решения, однако правомочность такого рода преобразований ничем не обоснована.

В работах [3, 4] аналитически определены так называемые критическая масса угля и критическая мощность угольного скопления. Под критической понимается такое значение мощности разрыхленного скопления угля, ниже которого возникновение эндогенного пожара маловероятно. К недостаткам определения критических значений для скопления угля следует отнести ту же линеаризацию исходного уравнения теплового баланса. Полученные результаты данного исследования приводят к нерациональным экономическим затратам и усложнению мер и технологии профилактических работ.

Во всех вышеперечисленных работах не решается сопряженная задача теплообмена скопления угля с вмещающими породами, который самым

существенным образом влияет на формирование теплового поля и тем самым на процесс самонагревания угля. Также учитывается фракционный состав угольного скопления. Проведенные исследования в работе [5] показали, что большая часть угольных пластов образует угольную пыль, константы скорости окисления которой и время инкубационного периода самовозгорания существенно выше, чем у угля.

Цель работы – исследование условий теплообмена угля с окружающей шахтной средой при уменьшении размера частиц угля менее 1...3 мм для определения критической мощности скопления угольной пыли.

Результаты исследований. Для каменных углей характерна определенная критическая температура самовозгорания, выше которой процесс взаимодействия кислорода с углем резко ускоряется. Если температура скопления угля выше критической, можно утверждать, что сформировались условия для его самовозгорания. Крайняя граница безопасной в пожарном отношении ситуации создается в том случае, когда температура скопления угля стабилизируется в пределах критического значения и выше не поднимается. Это соответствует стационарному процессу теплопередачи. Определив экспериментально критическую температуру самовозгорания угля и константу скорости окисления угля при критической температуре, можно установить критическую мощность слоевого скопления, опасного по самовозгоранию.

Критическую мощность угольного скопления можно определить, сделав допущение о том, что отвод теплоты от скопления происходит только теплопроводностью и только в одном направлении. В этом случае критическая мощность скопления будет занижена, что дает запас надежности при практическом использовании результатов расчета.

С учетом сделанных допущений уравнение теплового баланса [1] для стационарного процесса теплопередачи примет вид

$$\frac{d^2 T}{dy^2} = -\frac{q_0 k_p \bar{C} \gamma}{\lambda}, \quad (1)$$

где T – температура в скоплении угля, К;

y – пространственная координата, м;

q_0 – теплота реакции окисления угля, Дж/м³;

k_p – константа скорости окисления рядового угля, с⁻¹;

$\bar{C}$ – среднее значение объемной доли кислорода в угольном скоплении, %;

γ – средняя плотность угля, кг/м³;

λ – коэффициент теплопроводности угля, Вт/(м·К), принимается по данным работ [1 – 2].

Схема формирования критической мощности угольного скопления толщиной $h_{кр}$, м, приведена на рисунке 1. Обозначим температуру слоевого угольного скопления T_1 , К, при $y = 0$, и T_2 , К, при $y = h_{кр}$.

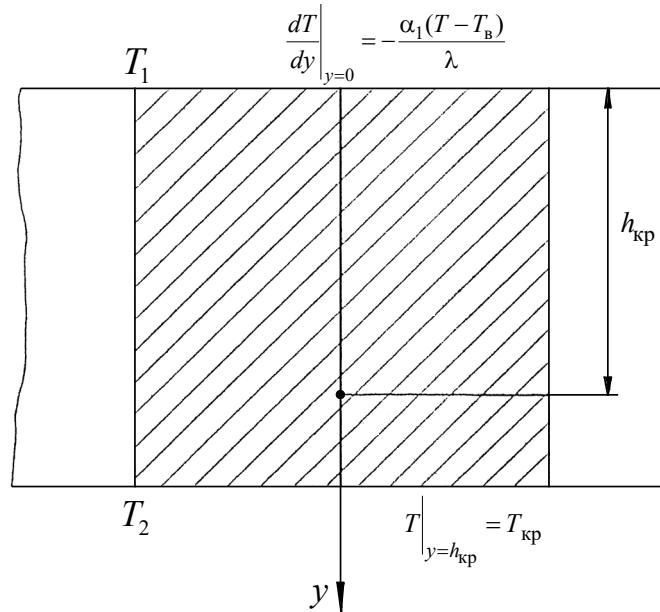


Рис. 1. Схема формирования критической мощности угольного скопления

Принимая во внимание, что рассматривается скопление угольной пыли с размерами фракции угольного вещества менее 1...3 мм, на основании результатов исследований [5] проведем следующие преобразования.

Обозначив $\frac{q_0 k_p \bar{C}_\gamma}{\lambda} = A$ и дважды интегрируя уравнение (1) по y , получим значение температуры в скоплении угля T , К,

$$T = -A \frac{y^2}{2} + C_1 y + C_2, \quad (2)$$

где C_1 – значение объемной доли кислорода при $y = h_{kp}$, %;

C_2 – значение объемной доли кислорода при $y = 0$, %.

Тогда: $T(0) = T_1$, $T(h_{kp}) = T_2 = -A \frac{h_{kp}^2}{2} + C_1 h_{kp} + T_1$, откуда

$$C_1 = \frac{1}{h_{kp}} \left(T_2 - T_1 + A \frac{h_{kp}^2}{2} \right).$$

Таким образом, уравнение (2) примет вид

$$T = -A \frac{y^2}{2} + \frac{1}{h_{kp}} \left(T_2 - T_1 + A \frac{h_{kp}^2}{2} \right) y + T_1$$

или в безразмерном виде

$$\frac{T - T_1}{T_2 - T_1} = \left[1 + \frac{q_0 k_p \bar{C} \gamma h_{кр}^2}{2\lambda (T_2 - T_1)} \right] \frac{y}{h_{кр}} - \frac{q_0 k_p \bar{C} \gamma h_{кр}^2}{2\lambda (T_2 - T_1)} \left(\frac{y}{h_{кр}} \right)^2. \quad (3)$$

Принимая на поверхности угольного слоя при $y = 0$ теплообмен по закону Ньютона – Рихмана, учитывая температуропроводность, получим удельный тепловой поток на поверхности угольного скопления q , Вт/м², $q = \alpha_1 (T_{\text{в}} - T_1)$, а при $y = h_{кр}$, соответственно, $q = 0$, тогда, используя формулу (3), получим

$$T_2 = T_1 + \frac{q_0 k_p \bar{C} \gamma h_{кр}^2}{2\lambda}. \quad (4)$$

Используя выражение (4) и зависимость коэффициента температуропроводности угольного скопления α_1 , м²/с, от температуры воздушного потока $T_{\text{в}}$, К, представленную в виде

$$\lambda \frac{T_1 - T_2}{h_{кр}} \left[1 - \frac{q_0 k_p \bar{C} \gamma h_{кр}^2}{2\lambda (T_1 - T_2)} \right] = \alpha_1 (T_{\text{в}} - T_1),$$

уравнение (3) можно будет представить следующим образом:

$$-q_0 k_p \bar{C} \gamma h_{кр}^2 = \alpha_1 (T_{\text{в}} - T_1),$$

откуда определим

$$T_1 = T_{\text{в}} + \frac{q_0 k_p \bar{C} \gamma h_{кр}}{\alpha_1}.$$

Таким образом, уравнение (2) принимает вид

$$T = -\frac{q_0 k_p \bar{C} \gamma}{2\lambda} y^2 + \frac{q_0 k_p \bar{C} \gamma h_{кр}}{\lambda} y + \frac{q_0 k_p \bar{C} \gamma h_{кр}}{\alpha_1} + T_{\text{в}},$$

при этом уравнение для определения температуры в скоплении угольной пыли с учетом критической мощности примет вид

$$T(h_{кр}) = T_{\text{в}} + \frac{q_0 k_p \bar{C} \gamma h_{кр}}{\alpha_1} + \frac{q_0 k_p \bar{C} \gamma h_{кр}^2}{2\lambda}. \quad (5)$$

Полагая $T(h_{кр}) = T_{кр}$ и учитывая, что величина λ/α_1 при скоростях воздуха, соответствующих фильтрационным утечкам через выработанное пространство, весьма незначительна и ей, соответственно, можно пренебречь, из уравнения (5) получим зависимость для определения критической мощности скопления угольной пыли $h_{кр}$, м,

$$h_{кр} = \sqrt{\frac{2\lambda(T_{кр} - T_B)}{q_0 k_p \bar{C} \gamma}}. \quad (6)$$

Зависимость (6) – исходная для определения критической мощности скопления угольной пыли, то есть той мощности, меньше которой самовозгорание угля в скоплении невозможно.

Для расчета по зависимости (6) необходимо определить критическую температуру самовозгорания $T_{кр}$, К, константу скорости окисления рядового угля k_p , s^{-1} , среднюю плотность угля γ , $кг/м^3$, и теплоту реакции окисления угля q_0 , $Дж/м^3$. Входящие в зависимость (6) среднее значение объемной доли кислорода в угольном скоплении $\bar{C}$, %, и температуру воздушного потока T_B , К, берем по данным измерений в шахте.

Оценивается возможность самовозгорания слоевого скопления угольной пыли сравнением расчетной критической мощности с фактической. Однако в шахте не всегда можно измерить фактическую мощность скопления. Она зависит от условий залегания и выемки пластов, а также вида угольного скопления (завалы лав, внезапные выбросы угля, невынимаемые пачки и прослойки и т.д.). Например, на пластах крутого падения при раздавливании целиков угля, обрушении уступов, внезапных выбросах угля, оставлении его в магазинных уступах фактическую мощность скопления следует считать равной мощности пласта. В случаях оценки пожароопасности при оставлении в выработанных пространствах пачек и прослоек угля, попадающих в зону обрушения разрабатываемого пласта, их фактическая мощность должна быть умножена на коэффициент разрыхления угля.

Внутри угольного скопления в результате окисления угля формируется определенный температурный режим, и в тех местах угольного скопления, где фактическая температура может превысить критическую, возможно образование очагов самовозгорания угля.

Выводы. Установленная зависимость позволяет определить значение критической мощности оставленного скопления угольной пыли по фактору эндогенной пожароопасности в шахтных условиях и предупредить его самовозгорание.

Список литературы / References

1. Пашковский, П. С. Актуальные вопросы борьбы с самовозгоранием угля : сборник научных трудов / П. С. Пашковский, С. П. Греков, И. Н. Зинченко. – Донецк : ЧП «Арпи», 2012. – 656 с.

Pashkovskiy, P. S., Grekov, S. P., Zinchenko, I. N. *Aktualnye voprosy borby s samovozgoraniem uglya : sbornik nauchnykh trudov* [Actual problems of fighting the spontaneous combustion of coal: collection of scientific papers]. Donetsk, ChP “Arpi” Publ., 2012, 656 p. (In Russian)

2. Пашковский, П. С. Новый метод локального прогноза эндогенной пожароопасности выемочного участка в процессе ведения горных работ / П. С. Пашковский, И. А. Шайтан, И. Н. Коваль // Научно-технические достижения и передовой опыт в угольной промышленности : сборник. – Москва : ЦНИЭИуголь, 1991. – Вып. 10. – С. 19 – 22.

Pashkovskiy, P. S., Shaytan, I. A., Koval, I. N. *Novyy metod lokalnogo prognaza endogennoy pozharoopasnosti vyemochного uchastka v protsesse vedeniya gornykh rabot* [Novel method of local forecast of spontaneous fire hazard for working area in the process of mining works]. *Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya i peredovoy opyt v ugolnoy promyshlennosti : digest*, Moscow, TsNIEIugol, 1990, issue 10, pp. 19-22. (In Russian)

3. Троп, А. Е. Прогнозирование самовозгорания угля и эндогенных пожаров на угольных шахтах / А. Е. Троп, В. В. Матвеев // Безопасность труда в промышленности. – 2000. – № 6. – С. 52 – 54.

Trop, A. Ye., Matveyev, V. V. *Prognozirovanie samovozgoraniya uglya i endogennykh pozharov na ugolnykh shakhtakh* [Prediction of coal spontaneous combustion and fires in coal mines]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, 2000, no. 6, pp. 52-54. (In Russian)

4. Динамика температуры самонагревания скопления угля / С. П. Греков, П. С. Пашковский, Б. И. Кошовский, Я. Цыганкевич, А. А. Березовский // Пожарная безопасность – 2001 : сборник научных трудов. – Львов : Сполом, 2001. – С. 489 – 490.

Grekov, S. P., Pashkovskiy, P. S., Koshovskiy, B. I., Tsygankevich, Ya., Berezovskiy, A. A. *Dinamika temperatury samonagrevaniya skopleniya uglya* [Temperature dynamics of spontaneous heating of coal accumulation]. *Pozharnaya bezopasnost – 2001 : collection of scientific papers*. Lvov, Spolom Publ., 2001, pp. 489-490. (In Russian)

5. Головченко, Е. А. Химическая активность угля и его инкубационный период самовозгорания при образовании скоплений угольной пыли / Е. А. Головченко // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2020. – № 4(57). – С. 66 – 72.

Golovchenko, Ye. A. *Khimicheskaya aktivnost uglya i yego inkubatsionnyy period samovozgoraniya pri obrazovanii skopleniy ugolnoy pyli* [Chemical activity

of coal and its spontaneous combustion incubation period during formation of coal dust accumulations]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator"*, 2020, no. 4(57), pp. 66-72. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 18.10.2023

Yevgeny Aleksandrovich Golovchenko, Cand. Sci. (Tech.), head of department; e-mail: ennio_80@mail.ru;

Oleg Petrovich Pashkovskiy, junior scientific associate; e-mail: kingston-4@mail.ru

Federal State Institution "The Scientific Research Institute "Respirator" EMERCOM of Russia"

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-34

Gennady Anatolyevich Gusar, Cand. Sci. (Tech.), associate professor; e-mail: gusargan@mail.ru

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education

«Donetsk national technical university»

283001, Donetsk, 58, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (949) 350-86-75

DETERMINATION OF CRITICAL WIDTH OF COAL DUST ACCUMULATION

Objective. Study of conditions for heat transfer between coal with 1...3 mm reduction in size of coal particles and coal mine environment for determining the critical width of coal dust accumulation.

Methods. Analytical studies of the thermal process proceeding in the abandoned coal accumulation factoring in the heat transfer and reduction in size of coal particles.

Results. The stochastic process of heat transfer into the mine environment is reviewed relaying on the suggested model of coal dust accumulation formation and the relation is established for computation of the coal dust accumulation critical width.

Scientific novelty. The derived analytical relation makes it possible to determine the critical width value for the abandoned coal dust accumulation according to the spontaneous fire hazard factor in the mine conditions.

Practical value. The results of the work make it possible to forecast the safe conditions of coal seams mining and to prevent the spontaneous ignition in the coal dust accumulation.

Keywords: coal spontaneous ignition; spontaneous ignition temperature; coal dust accumulation; heat transfer; coal.

Citation: Golovchenko Ye. A., Pashkovskiy O. P., Gusar G. A. Opredelenie kriticheskoy moshchnosti skopleniya ugolnoy pyli [Determination of critical minimum ignition energy of coal dust accumulation]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2023, 4(60), pp. 36-43. EDN IIWPOV.

УДК 622.867.324

Валерий Владимирович Мамаев, д-р техн. наук, заместитель начальника (по научной работе); e-mail: respirator@80mchs.gov.ru;

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

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

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

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-45

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕГЕНЕРАЦИИ В ДЫХАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ С КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ СОРБЦИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Цель. Исследование процессов регенерации в дыхательном аппарате с использованием комбинированной системы сорбции диоксида углерода для улучшения микроклимата вдыхаемой газовой дыхательной смеси.

Методы. Экспериментальные и аналитические методы исследований процессов регенерации газовой дыхательной смеси при различных конструктивных изменениях изолирующих регенеративных респираторов.

Результаты. Исследованы разработанные функциональные схемы респиратора с оптимальным количеством выделяемого кислорода, что позволило установить возможность снижения содержания кислорода до физиологических норм.

Научная новизна. Исследованы процессы регенерации газовой дыхательной смеси при переключении газовоздушных потоков в респираторе в зависимости от концентрации содержащихся газов. Предложено внести изменение в методику испытаний дыхательных аппаратов и разработана функциональная схема респиратора с датчиком содержания кислорода и электромагнитным клапаном.

Практическая значимость. Результаты экспериментальных исследований позволили разработать функциональную схему респиратора с датчиком содержания кислорода и электромагнитным клапаном для автоматического контроля необходимого микроклимата в дыхательной системе респиратора.

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

Для цитирования: Мамаев В. В., Плетенецкий Р. С., Зборщик Л. А., Францев В. И. Исследование процессов регенерации в дыхательном аппарате с комбинированной системой кислородопитания // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 4(60). – С. 44–55. EDN KZAKUB.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. В нормальных производственных условиях на промышленных объектах газовый состав воздуха мало отличается от атмосферного. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 «Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» содержание вредных примесей в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций.

При чрезвычайных ситуациях объемные доли (концентрации) вредных веществ увеличиваются в несколько раз, в результате чего атмосфера становится не только непригодной, но и опасной для жизни людей с незащищенными органами дыхания. В таких случаях для обеспечения их жизнедеятельности требуется применение средств индивидуальной защиты органов дыхания (далее – СИЗОД).

При ведении аварийно-спасательных работ требуются средства защиты, позволяющие выполнять работы с нагрузкой различной степени тяжести в течение длительного времени. В этих условиях применяют изолирующие дыхательные аппараты, обеспечивающие надежную защиту от токсичных веществ высоких концентраций. Такие аппараты представляют собой средства защиты многоразового применения при условии замены регенеративных патронов, к ним предъявляются повышенные требования в части физиолого-гигиенических характеристик.

Для защиты органов дыхания горноспасатели используют изолирующие респираторы со сжатым кислородом Р-30 и Р-34, имеющие высокую объемную долю кислорода (до 99 %) во вдыхаемой газовой дыхательной смеси (далее – ГДС).

В настоящее время все большее число фирм, занимающихся разработкой новой дыхательной аппаратуры, ведет исследования о влиянии на здоровье человека таких высоких концентраций кислорода. Однозначных оценок по этому вопросу нет, но заметна тенденция к уменьшению концентрации кислорода и приближению ее к естественным условиям. Так, ГОСТ Р 12.4.253-2011 «Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Автономные изолирующие дыхательные аппараты со сжатым и с химически связанным кислородом для горноспасателей» регламентирует номинальное время защитного действия более 4 ч, объемная доля кислорода не должна превышать 60 %. Снижение содержания кислорода до концентраций, близких к физиологическим, уменьшает нагрузку на организм человека и позволяет более экономно использовать защитный ресурс респиратора.

Разработка дыхательного аппарата со сниженным до физиологических норм количеством кислорода – актуальная задача, решение которой позволит улучшить микроклиматические параметры и повысить эргономичность применяемых СИЗОД. Ряд зарубежных фирм («Drägerwerk AG», «Auergesellschaft GmbH») ведет исследования в этом направлении, но серийно выпускаемые аппараты отсутствуют. Известно о разработке в Российской Федерации экспериментальных образцов дыхательных аппаратов такого типа [1].

Анализ последних исследований и публикаций. В изолирующих регенеративных респираторах применяют сорбенты для очистки ГДС от продуктов метаболизма (главным образом диоксида углерода) и регенерации этого воздуха, восстановления его состава до пригодного для дыхания.

При нормальной работе регенеративного респиратора содержание кислорода в воздухопроводной системе, то есть во вдыхаемой из респиратора ГДС, значительно выше, чем в атмосферном воздухе, и составляет 60...90 % в зависимости от типа респиратора и режима работы в нем [2]. Систематическая работа в регенеративном респираторе – профессиональная особенность труда горноспасателей, поэтому изучение влияния длительного вдыхания ГДС с высоким содержанием кислорода на организм человека жизненно необходимо, его исследованию посвящено большое количество работ.

На основании анализа работ физиологов В. В. Ходот в 1948 г. пришел к выводу, что при нормальном атмосферном давлении периодическое, в течение 4 ч, вдыхание высокопроцентного или даже чистого кислорода совершенно безвредно. Однако многочасовое его вдыхание оказывает неблагоприятное воздействие на обменные процессы в организме вообще и окислительно-восстановительные в частности.

Оптимальная концентрация кислорода во вдыхаемой ГДС при выполнении физической работы пользователем согласно исследованиям НИИГД «Респиратор» – 40 %, по данным других исследователей – до 60 %.

Длительное вдыхание ГДС с высокой концентрацией кислорода становится причиной кислородного отравления, которое может повлечь профессиональные заболевания. В данном случае признаками кислородного отравления наиболее часто служат судороги, заболевания сердечно-сосудистой и центральной нервной систем. Подтверждает повреждающее действие при кислородном отравлении оксидативный стресс, в результате которого образуются реактивные формы кислорода, нарушающие структуру клетки [3].

К признакам легочной формы кислородного отравления относят деструкцию эндотелия капилляров, эпителия альвеол, гиперплазию альвеолярных клеток, отек, геморрагию, утолщение и гиалинизацию артериол, образование фибрина, ателектазы, сопровождаемые тяжелыми нарушениями газообмена, гипоксемией, что может привести к летальному исходу. Отравления кислородом по степени выраженности могут проявляться локальными судорогами мышц, вплоть до опистотонуса [4].

Согласно современным представлениям основное место в патогенезе декомпрессионной болезни занимает тканевая гипоксия при токсическом действии азота и кислорода [5], что может служить причиной развития эндогенной интоксикации на фоне активного протекания реакций перекисного окисления липидов и расстройства работы антиоксидантной системы. В этих условиях происходит увеличение концентрации молекул средней массы, которые обычно и являются неспецифическими маркерами интоксикации организма, сигнализирующими о тяжести наступающих расстройств [6].

Кислород из-за своего токсического действия в зависимости от степени устойчивости пользователей вызывает разнонаправленные реакции со стороны

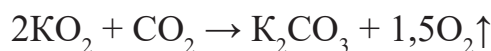
центральной нервной, сердечно-сосудистой и дыхательной систем [7]. Поэтому при выполнении тяжелых работ на глубинах 15...20 м учитывают индивидуальную предрасположенность работников к токсическому действию кислорода.

Исходя из вышеизложенного, вдыхание ГДС с высокой концентрацией кислорода оказывает негативное влияние на организм пользователя, что определяет необходимость разработки изолирующего регенеративного респиратора с оптимальным (сниженным до физиологического уровня) количеством кислорода во вдыхаемой ГДС.

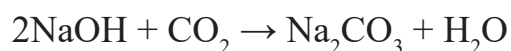
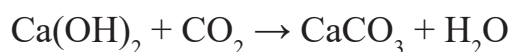
Цель работы – исследование процессов регенерации в дыхательном аппарате с использованием комбинированной системы сорбции диоксида углерода для улучшения микроклимата вдыхаемой газовой дыхательной смеси.

Результаты исследований. В процессе проработки схемного решения респиратора был оценен вариант конструкции со снижением потока газовой смеси через регенеративный патрон с кислородсодержащим продуктом благодаря применению дополнительного патрона с поглотителем диоксида углерода. Объем ГДС, проходящей через каждый из патронов, должен регулироваться автоматически управляемым переключающим клапаном.

Процесс регенерации в патроне с кислородсодержащим веществом ОКЧ на основе надпероксида калия KO_2 описывают общим химическим уравнением



Процесс поглощения (сорбции) диоксида углерода в поглотительном патроне, заполненном химическим поглотителем известковым ХП-И, описывают химическими уравнениями



Из литературных источников известно, что продукт ОКЧ имеет запас активного кислорода около 190 дм³/кг и удельную сорбционную емкость по CO_2 65...75 дм³/кг. Поглотитель ХП-И обладает высокой стехиометрической активностью – 300 дм³/кг, статическая активность составляет 50...70 % от стехиометрической и зависит от характеристик самого поглотителя, конструкции патрона и режима нагрузки.

Поскольку оба сорбента активно поглощают диоксид углерода, принимая в качестве допущения одинаковую скорость сорбции каждым из сорбентов, для обеспечения равного использования сорбентов считаем целесообразным в разрабатываемом респираторе иметь соотношение масс ХП-И и ОКЧ как 2:1.

В макетном образце респиратора (рис. 1) использован переключающий клапан, расположенный в дыхательном мешке выдоха. Данная функциональная схема предусматривает параллельное соединение патронов. Переключающий клапан обеспечивает управление потоками ГДС в двух воздуховодных линиях – с регенеративным патроном и поглотительным [8], при этом обеспечивается перекрытие воздуховодной линии с регенеративным патроном в результате наполнения дыхательного мешка до максимального объема. При срабатывании, когда запорная часть переключающего клапана находится в промежуточном положении, ГДС проходит через оба патрона пропорционально образуемым проходным сечениям переключающего клапана.

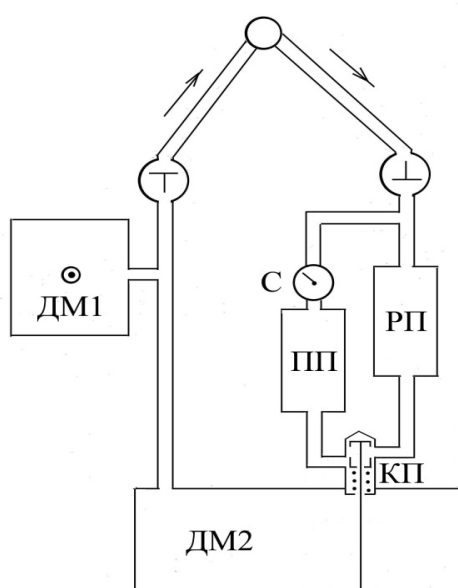


Рис. 1. Функциональная схема макетного образца респиратора с параллельным соединением патронов и переключающим клапаном:

ДМ1 – дыхательный мешок вдоха; ДМ2 – дыхательный мешок выдоха;

КП – переключающий клапан; ПП – поглотительный патрон (с ХП-И);

РП – регенеративный патрон (с ОКЧ); С – спирометр

Макетный образец дыхательного аппарата испытывали на динамической установке «искусственные легкие» по методике ГОСТ Р 12.4.253-2011. Для контроля объемного расхода ГДС, проходящей через каждую воздуховодную линию, использовали спирометр. Во время испытаний регистрировали параметры вдыхаемой ГДС: объемные доли кислорода и диоксида углерода, сопротивление дыханию и температуру. Режим испытаний – номинальный: легочная вентиляция – $30 \text{ дм}^3/\text{мин}$, частота дыхания – 20 мин^{-1} , дыхательный объем – $1,5 \text{ дм}^3$.

Испытания прекращали при превышении объемной доли диоксида углерода (3 %). Критерием достижения требуемого результата было соответствие

требованиям ГОСТ Р 12.4.253-2011 по объемной доле кислорода, диоксиду углерода и другим параметрам вдыхаемой ГДС. По результатам испытаний определяли фактическое время защитного действия макетного образца респиратора.

Результаты экспериментальных исследований респиратора с данной схемой (см. рис. 1) показали отсутствие значительного снижения содержания кислорода во вдыхаемой ГДС. Не наблюдалось и снижения скорости нарастания содержания кислорода в первоначальный период его работы (рис. 2).

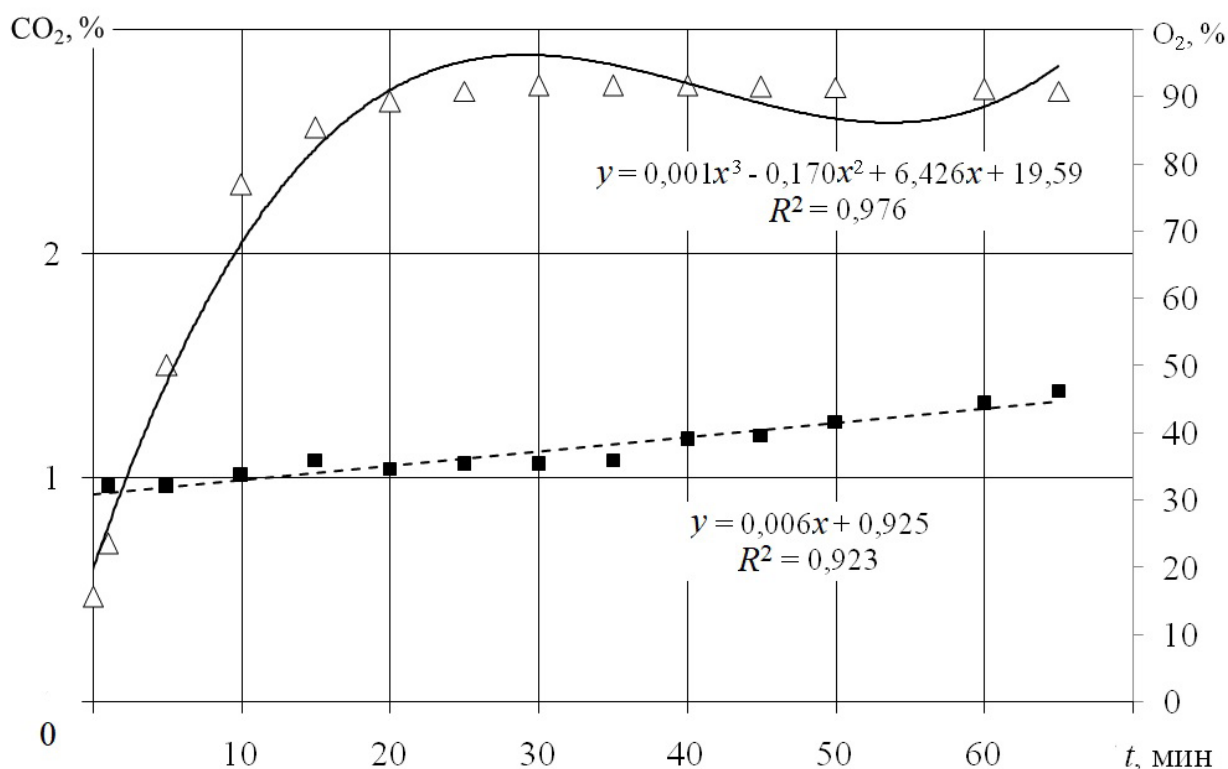


Рис. 2. Динамика содержания кислорода (1) и диоксида углерода (2) во вдыхаемой ГДС в респираторе с переключающим клапаном

Это обусловлено отсутствием абсолютной герметичности по линии обтюрации клапана, что позволяло поступать ГДС в регенеративный патрон, из-за чего процесс регенерации ГДС не прекращался. Также негативное влияние оказывал циклический характер движения ГДС, не допускающий полного закрытия регенеративного патрона и прекращения генерации кислорода.

Для определения возможности применения схемы с двумя патронами (один из которых снаряжен ХП-И, второй – ОКЧ) была разработана и испытана схема с параллельным соединением патронов и переключением в ручном режиме между ними (рис. 3).

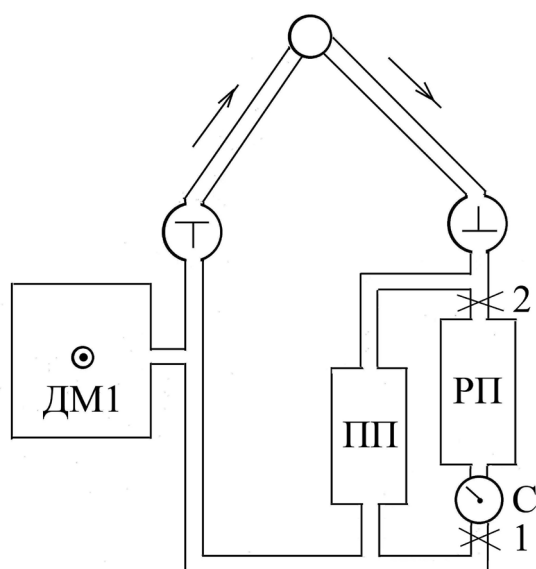


Рис. 3. Функциональная схема респиратора с параллельным соединением патронов и переключением в ручном режиме между ними:

ДМ1 – дыхательный мешок вдоха; ПП – поглотительный патрон (с ХП-И);
РП – регенеративный патрон (с ОКЧ); С – спирометр; 1, 2 – место перекрытия
воздуховодных линий

При этом удалось остановить повышение содержания кислорода. В ходе экспериментальных исследований была установлена большая инерционность регенеративных процессов: после прекращения подачи в регенеративный патрон диоксида углерода и влаги содержание кислорода еще некоторое время (до 10 мин) повышалось и оставалось на высоком уровне в течение 30...60 мин. Избежать этого теоретически можно было бы отключением регенеративного патрона от воздуховодной системы с обеих сторон. Практическое осуществление этого затруднительно: отключение регенеративного патрона от воздуховодной системы с двух сторон при продолжающейся генерации кислорода приведет к увеличению давления в воздуховодной системе респиратора и ее разгерметизации.

Результаты исследований данной схемы (рис. 3) при достижении уровня кислорода 55 %, 30 %, 25 % представлены на рис. 4. Установлено последовательное снижение концентрации кислорода до 25 %, при котором происходит отключение регенеративного патрона, что позволило уменьшить содержание кислорода на вдохе до значений, не превышающих 30 %.

В ходе исследований выполнен анализ параметров работы респиратора при переключении между патронами при разных уровнях содержания кислорода в воздуховодной системе респиратора. Определение уровня, при котором

необходимо производить переключение, – сложный и важный вопрос, связанный с выявленной большой инерционностью регенеративных процессов в дыхательных аппаратах с химически связанным кислородом, а также протеканием регенеративных процессов по нескольким альтернативным путям в зависимости от условий (например, влажности поступающего в регенеративный патрон воздуха и качества самого сорбента).

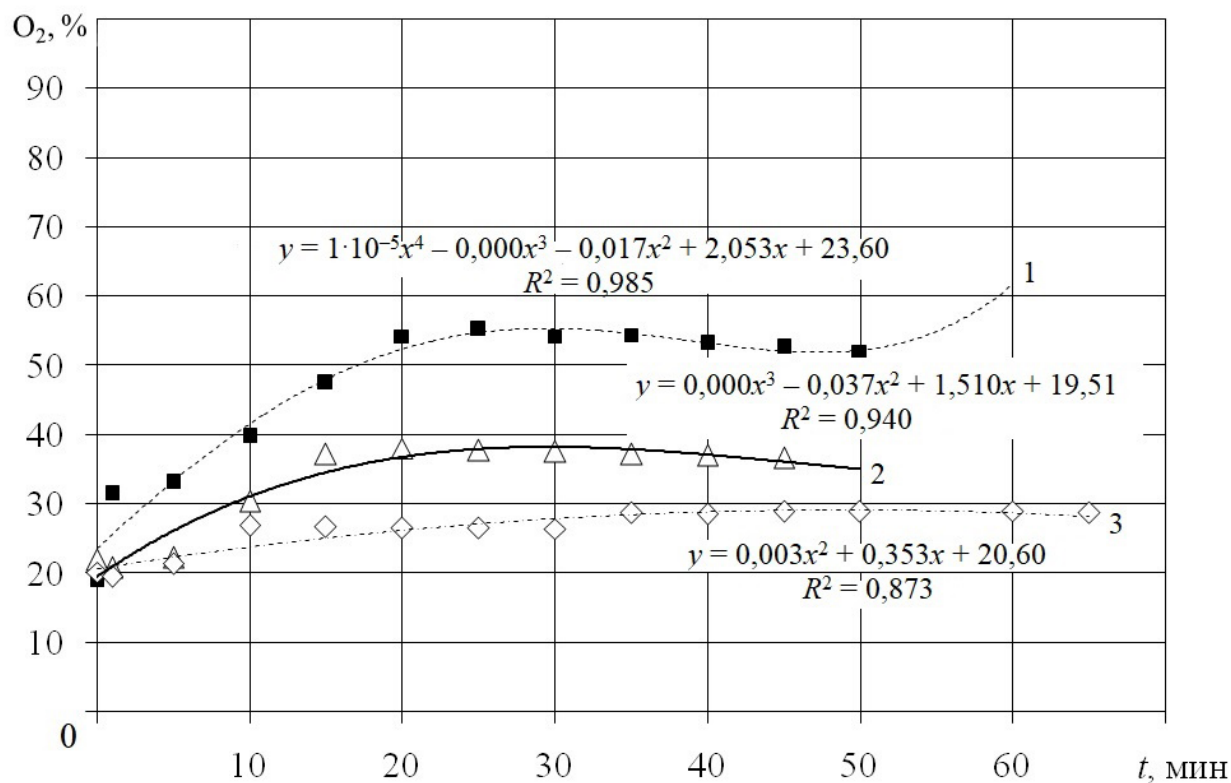


Рис. 4. Изменение содержания кислорода при переключении в ручном режиме при разных концентрациях кислорода:

1 – при достижении 55 %; 2 – при достижении 30 %;
3 – при достижении 25 %

Результаты исследований процессов регенерации по данной схеме при отключении воздухопроводной линии с регенеративным патроном при достижении уровня концентрации кислорода 30 % и включения ее при 21 % представлены на рисунке 5.

Из анализа полученных результатов следует, что по мере продолжения эксперимента увеличивалось не только содержание диоксида углерода в связи с насыщением им сорбентов, увеличивалась также амплитуда колебаний содержания диоксида углерода, что может быть объяснено нестабильностью работы сорбентов по мере их насыщения диоксидом углерода.

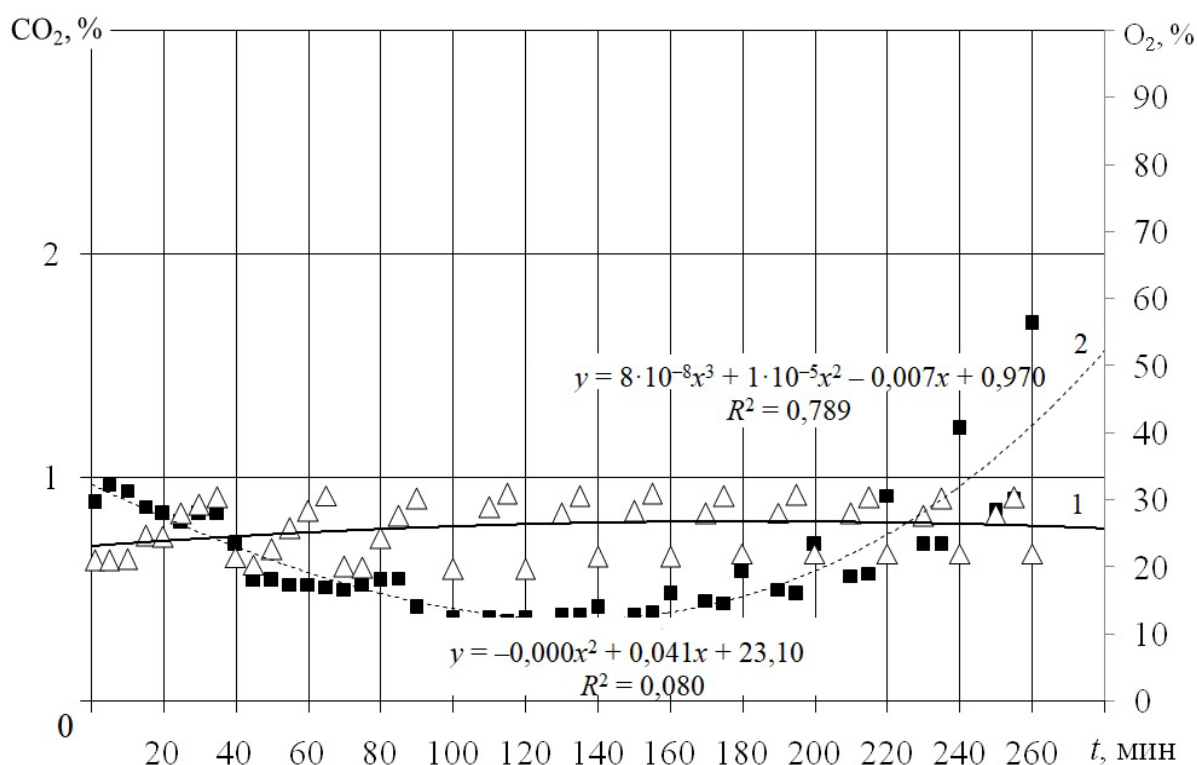


Рис. 5. Динамика содержания кислорода (1) и диоксида углерода (2) во вдыхаемой ГДС в респираторе с отключением в ручном режиме между патронами при достижении 21 % и 30 % кислорода

Вопрос неполной имитации внутреннего газообмена в динамической установке «искусственные легкие» был решен подачей инертного газа в ее воздухопроводную систему. Подача инертного газа (в данном случае – аргона) для компенсации откачиваемой ГДС при испытаниях респиратора позволила обеспечить приемлемую имитацию потребления кислорода, что регламентировано ГОСТ 12.4.292-2015 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Изолирующие самоспасатели с химически связанным или сжатым кислородом. Технические требования. Методы испытаний. Маркировка. Правила отбора образцов».

Температура вдыхаемого воздуха в течение всей продолжительности экспериментов находилась в пределах, регламентированных нормативными документами (в конце одного из самых длительных экспериментов она была равна 34 °С на 260 мин). Согласно требованиям 5.1.1.7 ГОСТ Р 12.4.253-2011 температура вдыхаемой ГДС независимо от влажности в течение номинального времени защитного действия должна быть не более 42 °С.

В респираторах с химически связанным кислородом снижение температуры вдыхаемой ГДС до необходимого уровня достигается применением определенных конструктивных решений теплообменника, тепловлажообменника, холодильника-увлажнителя. Относительно низкая

температура вдыхаемой ГДС в экспериментальных исследованиях обусловлена, по-видимому, применением двух патронов с разными сорбентами, так как тепловыделение при поглощении CO_2 сорбентом ХП-И значительно ниже, чем при регенерации ГДС продуктом ОКЧ. Известно, что температура в зоне реакции в регенеративном патроне с надпероксидом калия (ОКЧ) достигает 300...400 °С [2]. В связи с интенсивным теплоотводом в окружающую среду через стенки регенеративного патрона, теплообменник и внешние поверхности воздухопроводной системы температура вдыхаемой ГДС снижается до 45 °С.

В разработанном макетном образце респиратора отсутствовал теплообменник и теплоотдача в окружающую среду происходила через наружные стенки патронов, воздухопроводы (гофротрубки), клапанные коробки и загубник. Молярная теплота реакции сорбции диоксида углерода ХП-И, по данным различных авторов, составляет 80...115 кДж/моль, температура в зоне реакции ХП-И при нормальной температуре окружающей среды равна 50...55 °С [2]. Это значительно ниже 265...290 кДж суммарного тепловыделения продукта ОКЧ и его температуры в зоне реакции (300...400 °С).

Необходимо отметить опасность повышения удельной энтальпии вдыхаемого воздуха из-за использования в макетном образце химического поглотителя известкового ХП-И, что вызывает необходимость ее расчета в дальнейших экспериментах при контроле влажности вдыхаемой ГДС.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Результаты экспериментальных исследований макетного образца дыхательного аппарата (респиратора) с ручным переключением потоков ГДС между регенеративным и поглотительным патронами показали практическую возможность снижения содержания кислорода до 40...60 %. Для максимально полной имитации физиологических процессов дыхания осуществлялась подача инертного газа (аргона) в воздухопроводную систему взамен удаляемой ГДС. Для дальнейших исследований необходимо разработать образец респиратора с автоматическим переключением между патронами, испытать его на динамической установке и на испытателе-добровольце, что позволит проверить правильность решения по имитации процессов дыхания.

Список литературы / References

1. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования / С. В. Гудков, С. И. Дворецкий, С. Б. Путин, В. П. Таров. – Москва : Машиностроение, 2008. – 188 с.

Gudkov, S. V., Dvoretzkiy, S. I., Putin, S. B., Tarov, V. P. *Izoliruyushchie dykhatelnye apparaty i osnovy ikh proektirovaniya* [Self-contained respirators and basics of their design]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2008, 188 p. (In Russian)

2. Диденко, Н. С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ / Н. С. Диденко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1990. – 160 с.

Didenko, N. S. *Regenerativnye respiratory dlya gornospasatelnykh rabot. 2-e izd., pererab. i dop.* [Regenerative respirators for mine-rescue operations. The 2nd edition, revised and supplemented]. Moscow, Nedra Publ., 1990, 160 p. (In Russian)

3. Макаров, А. Ф. Искусственный гипобиоз как способ снижения негативного воздействия кислорода при повышенном парциальном давлении (кислородное отравление) / А. Ф. Макаров, М. А. Котский, И. В. Бухтияров // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 9. – С. 116.

Makarov, A. F., Kotskiy, M. A., Bukhtiyarov, I. V. *Iskusstvennyy gipobioz kak sposob snizheniya negativnogo vozdeystviya kisloroda pri povyshennom partsialnom davlenii (kislorodnoe otravlenie)* [Artificial hypobiosis as a way to reduce the negative effects of oxygen at elevated partial pressure (oxygen poisoning)]. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no 9, p. 116. (In Russian)

4. Бакланов, Д.В. Патолофизиологические механизмы токсического действия кислорода / Д. В. Бакланов, А. В. Стаценко, О. В. Леонтьев // Клиническая больница. – 2013. – № 1(04). – С. 25 – 26.

Baklanov, D. V., Statsenko, A. V., Leontyev, O. V. *Patofiziologicheskie mekhanizmy toksicheskogo deystviya kisloroda* [Pathophysiological processes of oxygen toxicity]. *Klinicheskaya bolnitsa*, 2013, no. 1(04), pp. 25-26. (In Russian)

5. Мясников, А. А. Устойчивость организма к декомпрессионной болезни и методы ее повышения: лекция / А. А. Мясников. Серия: «Водолазное дело». – Санкт-Петербург : Издательство СПбМАПО, 2009. – 45 с.

Maysnikov, A. A. *Ustoychivost organizma k dekompressionnoy bolezni i metody eyo povysheniya: lektsiya* [Organism resistance to caisson illness and methods of its improvement: lecture]. *Seriya: "Vodolaznoe delo"*, Saint Petersburg, SPbMAPO Press, 2009, 45 p. (In Russian)

6. Диагностика эндогенной интоксикации у водолазов при действии неблагоприятных факторов гипербарии / Д. П. Зверев, А. А. Мясников, А. Ю. Шитов, В. И. Чернов, А. Н. Андрусенко, И. Р. Кленков, З. М. Исрафилов // Известия Российской военно-медицинской академии. – 2021. – Т. 40, № S2. – С. 56 – 61.

Zverev, D. P., Myasnikov, A. A., Shitov, A. Yu., Chernov, V. I., Andrusenko, A. N., Klenkov, I. R., Israfilov, Z. M. *Diagnostika endogennoy intoksikatsii u vodolazov pri deystvii neblagopriyatnykh faktorov giperbarii* [Diagnostics of endogenous intoxication in divers under the influence of unfavorable factors of hyperbarism]. *Izvestiya Rossiyskoy voenno-medetsinskoy akademii*, 2021, vol. 40, no. S2, pp. 56-61. (In Russian)

7. Исследование состояния функций организма водолазов с различной устойчивостью к токсическому действию кислорода: проспективное когортное исследование / Д. П. Зверев, З. М. Исрафилов, А. А. Мясников, А. Ю. Шитов, В. И. Чернов // Морская медицина. – 2022. – Т. 8, № 3. – С. 30 – 39.

Zverev, D. P., Israfilov, Z. M., Myasnikov, A. A., Shitov, A. Yu., Chernov, V. I. *Issledovanie sostoyaniya funktsiy organizma vodolazov s razlichnoy ustoychivostyu*

k toksicheskomu deystviyu kisloroda: prospektivnoe kogortnoe issledovanie [Research of diver body functions' state with different resistance to the toxic oxygen effect: prospective cohort study]. *Morskaya meditsina*, 2022, vol. 8, no. 3, pp. 30-39. (In Russian)

8. Система кислородопитания изолирующего регенеративного респиратора с оптимальным содержанием кислорода / В. В. Мамаев, Л. А. Зборщик, Р. С. Плетенецкий, В. И. Францев // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2022. – № 4(59). – С. 82 – 93.

Mamyev, V. V., Zborshchik, L. A., Pletenetskiy, R. S., Frantsev, V. I. *Sistema kislorodopitaniya izoliruyushchego regenerativnogo respiratora s optimalnym sodержaniem kisloroda* [Oxygen feeding system of the self-contained regenerative respirator with optimum oxygen content]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2022, no. 4(59), pp. 82-93. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 26.09.2023

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

e-mail: respirator@80mchs.gov.ru;

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

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

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

*Federal State Institution "The Scientific Research Institute "Respirator" EMERCOM of Russia"
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-45*

STUDIES OF REGENERATION PROCESSES IN RESPIRATOR EQUIPPED WITH CARBON DIOXIDE SORPTION HYBRID SYSTEM

Objective. Studies of regeneration processes in the respirator equipped with hybrid system of carbon dioxide sorption for improvement of microclimate of the inhaled breathing gas mixture.

Methods. Experimental and analytical studies of the breathing gas mixture regeneration processes proceeding after various changes being made in the construction of self-contained regenerative respirators.

Results. The developed functional designs of the optimum oxygen regeneration respirator were examined which allowed for possible reduction of oxygen content to the physiological standards to be established.

Scientific novelty. The breathing gas mixture regeneration processes were studied with the air streams being switched in the respirator depending on the concentration of available gases. The changes in the methodology of testing the breathing apparatuses were proposed and the functional design of the respirator with the oxygen content sensor and electric solenoid valve was elaborated.

Practical value. The results of the experimental studies made it possible to develop the functional design of the respirator with oxygen content sensor and electric solenoid valve for automatic control of required microclimate in the respiratory system of the breathing apparatus.

Keywords: *breathing apparatus; functional design; respirator; chemically bonded oxygen; potassium superoxide; regeneration; chemical lime absorbent; microclimate.*

Citation: Mamayev V. V., Pletenetskiy R. S., Zborshchik L. A., Frantsev V. I. *Issledovanie protsessov regeneratsii v dykhatelnom apparate s kombinirovannoy sistemoy sorbtzii dioksida ugleroda* [Studies of regeneration processes in respirator equipped with carbon dioxide sorption hybrid system]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2023, 4(60), pp. 44-55. EDN KZAKUB.

УДК 622.867.2:622.012.2*Александр Михайлович Симонов, нач. отд.; e-mail: simonov54_54@mail.ru;**Александр Викторович Мавроди, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; e-mail: mavrodi-av@mail.ru;**Андрей Викторович Ивахненко, инж. II кат.; e-mail: andrey_ivahnenko@mail.ru**Федеральное государственное казенное учреждение**«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»**283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-34*

ВЕДЕНИЕ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТ, НЕ ИМЕЮЩИХ ЗАПАСНОГО ВЫХОДА

Цель. Обеспечение безопасных условий для спасения людей в выработках шахт, не имеющих запасного выхода и проветриваемых за счет общешахтной депрессии при авариях или инцидентах.

Методы. Аналитические исследования нормативно-технической документации, регламентирующей порядок ведения аварийно-спасательных работ в угольных шахтах горноспасательными подразделениями.

Результаты. На основе проведенных исследований разработаны «Предложения по составлению отдельных позиций планов ликвидации аварий для горных выработок шахт, не имеющих запасного выхода и проветриваемых за счет общешахтной депрессии».

Научная новизна. Предложен системный подход по решению вопросов безопасного спасения людей горноспасательными подразделениями при авариях или инцидентах в выработках шахт, не имеющих запасного выхода, и разработаны дополнительные требования по составлению отдельных позиций планов ликвидации аварий для ликвидируемых или работающих в режиме сухой консервации шахт ДНР.

Практическая значимость. Результаты исследований могут быть использованы при составлении отдельных позиций планов ликвидации аварий и разработке нормативной документации в области горноспасательного дела и промышленной безопасности.

Ключевые слова: шахта; авария; инцидент; горноспасательная служба; требования безопасности; план ликвидации аварий; запасной выход; аварийно-спасательные работы.

Для цитирования: Симонов А. М., Мавроди А. В., Ивахненко А. В. Ведение аварийно-спасательных работ в горных выработках шахт, не имеющих запасного выхода // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 4(60). – С. 56–63. EDN TWBPLQ.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. В связи с реструктуризацией угольной промышленности ДНР большинство угольных предприятий не имеет возможности для обустройства и поддержания запасных выходов из подземных горных выработок. Зачастую в них находится небольшое количество рабочих, выполняющих организационно-технические мероприятия по ликвидации или консервации горного предприятия (водоотлив, погашение выработок, демонтаж оборудования и др.). В свою очередь, данная проблема осложняет эвакуацию людей и ведение горноспасательных работ в выработках, не имеющих запасного выхода при авариях и инцидентах.

Порядок действий профессиональных горноспасательных подразделений при авариях и инцидентах на горных предприятиях осуществляется в соответствии с планом ликвидации аварий (далее – ПЛА), который разрабатывается в целях обеспечения готовности горных предприятий к действиям по локализации и ликвидации последствий аварий, а далее – по мероприятиям оперативных планов, разрабатываемых на основе нормативных правовых актов и документов. Однако требования, обеспечивающие безопасность мероприятий по спасению людей из выработок, не имеющих запасного выхода и проветриваемых за счет общешахтной депрессии, в действующей нормативной документации отсутствуют.

Поэтому разработка предложений по составлению отдельных позиций ПЛА для горных выработок шахт, не имеющих запасного выхода и проветриваемых за счет общешахтной депрессии, – важная и актуальная задача при ведении горноспасательных работ в условиях шахт ДНР.

Анализ последних исследований и публикаций. Эффективность организации ведения аварийно-спасательных работ имеет большое значение для оперативного оказания помощи работникам в шахте и ликвидации аварии. Должны быть четко организованы работы преимущественно в начальный период возникновения аварии, когда оперативность и слаженность действий горноспасателей позволяют спасти людей, находящихся в шахте, и свести к минимуму ущерб от аварии.

Наиболее опасные аварии на угольных шахтах – внезапные выбросы, взрывы газа и пыли, подземные пожары, которые в среднем составляют до 27 % от общего количества аварий, произошедших на шахтах ДНР за последние восемь лет. С развитием интенсивности очага пожара продукты горения разносятся по сети горных выработок и образуется непригодная для дыхания среда, что, в свою очередь, может привести к трагическим последствиям. По данным аварийности, причина свыше 95 % всех случаев гибели людей в шахтах при подземных пожарах – это изменение состава шахтного воздуха [1, 2].

Цель исследования – обеспечение безопасных условий для спасения людей в выработках шахт, не имеющих запасного выхода и проветриваемых за счет общешахтной депрессии при авариях или инцидентах.

Результаты исследований. При возникновении пожара в горных выработках, как правило, сохраняется нормальный режим проветривания шахты, а сеть действующих горных выработок должна обеспечивать эвакуацию работников из наиболее удаленных участков выработок на поверхность или в выработки со свежей струей воздуха по маршрутам, предусмотренным ПЛА [2]. Такое условие выполняется при наличии запасных выходов, исправных средств проветривания, вентиляционных устройств, при этом обеспечен предусмотренный ПЛА аварийный вентиляционный режим.

На угольных шахтах ДНР внедрена многоступенчатая система самоспасения горняков, которая предусматривает применение изолирующих самоспасателей,

способы проветривания горных выработок и размещение в них дополнительных коллективных (групповых) средств защиты. Согласно требованиям «Правил безопасности в угольных шахтах» для спасения людей в случае превышения времени их передвижения по выработкам с непригодной для дыхания средой необходимо оборудовать пункты переключения в изолирующие самоспасатели или применять более эффективные, но дорогостоящие технические устройства, такие как пункт коллективного спасения персонала (далее – ПКС).

Применение пунктов переключения в самоспасатели является довольно эффективным решением при передвижении людей по задымленным горным выработкам, однако малоэффективно при отсутствии безопасного выхода. Это связано с большой протяженностью аварийных маршрутов, обязывающих горные предприятия оборудовать ПКС в качестве дополнительного средства самоспасания людей или устанавливать камеры-убежища [3 – 5]. Данные мероприятия считаются более надежными для защиты работников от воздействия вредных пожарных газов.

В настоящее время ПКС применяются в Австралии, США, Китае и показали свою эффективность. В Российской Федерации на необходимость внедрения ПКС персонала обратили внимание после аварии, произошедшей в городе Междуреченске Кемеровской области на шахте «Распадская» в 2010 году, которая унесла жизни 91 человека [6, 7]. Первый ПКС КJYF-96/10 (производство КНР) смонтирован в Кузбассе на шахте имени В. Д. Ялевского АО «СУЭК-Кузбасс» (рис. 1).



Рис. 1. Пункт коллективного спасения персонала КJYF-96/10

Применение модульных ПКС влечет значительные материальные затраты для предприятия, а в условиях закрывающихся или работающих в режиме сухой консервации шахт данный способ экономически нецелесообразен.

Таким образом, с целью создания безопасных условий для спасения людей, находящихся в выработках шахт, не имеющих запасного выхода и проветриваемых за счет общешахтной депрессии при авариях или инцидентах, предлагаются следующие мероприятия при составлении отдельных позиций ПЛА:

- работники, находящиеся в выработке, не имеющей запасного выхода, при возникновении пожара (задымления) должны быть немедленно оповещены горным диспетчером шахты о месте и характере аварии для принятия необходимых действий по самоспасению;
- при пожаре (задымлении) в прилегающих к не имеющей запасного выхода выработке или других горных выработках рекомендуется передвижение работников навстречу движению вентиляционной струи с целью выхода людей из аварийного участка, при условии, что температура пожарных газов позволяет безопасно пройти опасный участок;
- для снижения скорости распространения пожара и возможности ведения горноспасательных работ по спасению людей, рекомендуется выполнить мероприятия по сокращению расхода воздуха в аварийной выработке. Наиболее эффективным будет применение регуляторов расхода воздуха путем установки аэродинамического сопротивления. Эффективность применения такого способа, должна определяться компьютерным моделированием вентиляционной сети шахты;
- в местах, определенных главным инженером шахты, необходимо установить аншлаги с названиями горных выработок, указатели направления движения к запасным выходам на поверхность, знаки безопасности и сигнальные устройства. Аншлаги, указатели направления движения к запасным выходам и знаки безопасности должны быть изготовлены из светоотражающего материала или покрыты им;
- в случае возникновения пожара на маршруте выхода из выработки, не имеющей запасного выхода, в качестве временного укрытия рабочих предлагается устройство стационарной спасательной камеры-ниши (рис. 2);

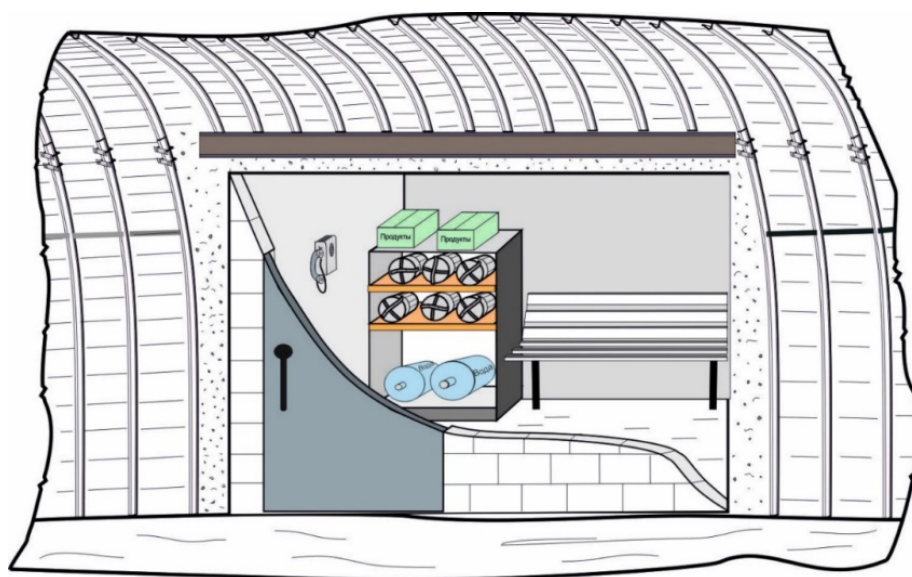


Рис. 2. Стационарная спасательная камера-ниша

- в стационарной спасательной камере-нише предусмотрены специальные средства проветривания, отводы от трубопроводов сжатого воздуха (при наличии сжатого воздуха в выработке), дополнительные изолирующие самоспасатели, средства первой медицинской помощи, запасы еды и воды, с учетом максимального количества работников, одновременно находящихся в аварийной выработке, а также телефонная связь с горным диспетчером шахты;

- запирающие устройства стационарной спасательной камеры-ниши должны быть максимально герметичными, чтобы исключить возможность проникновения внутрь камеры опасных для людей пожарных газов;

- при повреждении телефонной связи или отсутствии информации о месте возникновения пожара работникам необходимо включиться в самоспасатели и направиться в спасательную камеру-нишу для ожидания горноспасательных подразделений;

- выбор технических средств и организационных мер по созданию безопасных условий и спасению людей горноспасательными подразделениями при пожарах в выработках, не имеющих запасного выхода, в каждом конкретном случае проводят на основании расчетов и заранее разработанных и утвержденных мероприятий.

Для примера рассмотрим несколько вариантов подземных пожаров в горных выработках шахты, не имеющих запасного выхода и проветриваемых за счет общешахтной депрессии. На рисунке 3 представлена схема горных выработок филиала «Шахта имени М.И. Калинина» ГУП ДНР «Макеевуголь», в которых выполняются работы по поддержанию водопритока (откачка воды), но отсутствует возможность эвакуации рабочих по запасному выходу.

При возникновении пожара в центральном полевом уклоне пласта h_{10} (1) движение пожарных газов будет в направлении 3-го восточного полевого откаточного штрека пласта h_{10} , то есть на пути выхода людей из 1-го восточного полевого откаточного штрека ВПУ пласта h_{10} в безопасное место. Это дает возможность эвакуироваться рабочим из опасной зоны навстречу движению вентиляционной струи, при условии, что температура пожарных газов позволяет безопасно пройти задымленный участок.

В случае возникновения пожара на прямолинейном участке 1-го восточного полевого откаточного штрека ВПУ пласта h_{10} (2), температура воздуха в выработке может составлять 200...300 °С, что не позволит использовать ее для выхода рабочих в безопасное место, а также сделает невозможным передвижение горноспасательных подразделений для спасения людей. Поэтому, укрывшись в стационарной спасательной камере-нише, работники будут в более безопасных условиях ожидать прибытия горноспасателей, имея в своем распоряжении все необходимые средства жизнеобеспечения.

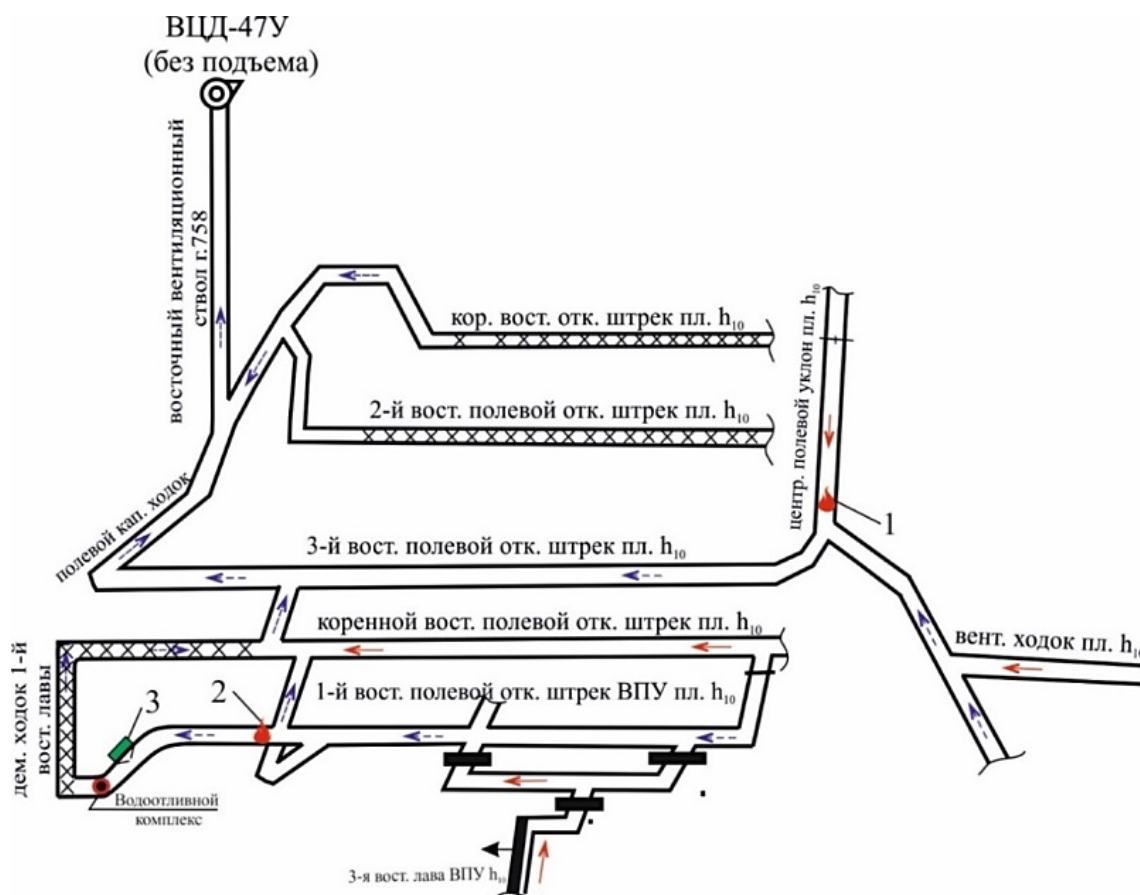


Рис. 3. Схема участка горных выработок филиала «Шахта имени М. И. Калинина» ГУП ДНР «Макеевуголь»:

1, 2 – места возникновения пожара; 3 – стационарная спасательная камера-ниша

Таким образом, согласно выполненным исследованиям для действующих выработок, не имеющих запасного выхода, должны быть составлены отдельные позиции ПЛА, которые предусматривают возможность выхода людей из аварийного участка или их укрытия в стационарной спасательной камере-нише для ожидания прихода горноспасателей, что позволит существенно повысить уровень безопасности рабочих в аварийных условиях.

Выводы. Предложенное техническое решение использовать стационарную камеру-нишу в качестве временного укрытия рабочих при возникновении аварий и инцидентов в выработках, не имеющих запасного выхода, позволит защитить работников шахт от воздействия вредных опасных факторов аварии до прибытия горноспасательных подразделений с минимальными затратами для горных предприятий. Предложения разработаны с учетом особенностей ведения горноспасательных работ на угольных шахтах ДНР и могут быть реализованы при разработке нормативной документации в области горноспасательного дела и промышленной безопасности.

Список литературы / References

1. Смоланов, С. Н. Ликвидация сложных подземных аварий методом вентиляционного воздействия / С. Н. Смоланов. – Днепропетровск : Наука и образование, 2002. – 272 с.

Smolanov, S. N. *Likvidatsiya slozhnykh podzemnykh avariy metodom ventilyatsionnogo vozdeystviya* [Mitigation of complex underground accidents by method of ventilation]. Dnepropetrovsk, Nauka i obrazovanie Publ., 2002, 272 p. (In Russian)

2. Пашковский, П. С. Проветривание шахт при подземных пожарах / П. С. Пашковский, В. И. Лебедев. – Донецк : Арпи, 2012. – 448 с.

Pashkovskiy, P. S., Lebedev, V. I. *Provetrivanie shakht pri podzemnykh pozharakh* [Ventilation of mines in case of the underground fires]. Donetsk, Arpi Publ., 2012, 448 p. (In Russian)

3. Ильинский, Э. Г. Требования к оборудованию и размещению камер-убежищ в горной выработке / Э. Г. Ильинский, Е. И. Конопелько, В. К. Овчаров // Пути повышения безопасности горных работ в угольной отрасли : сборник тезисов докладов 11-й Международной научно-практической конференции. – Макеевка, 2007. – С. 65 – 67.

Ilinskiy, E. G., Konopelko, Ye. I., Ovcharov, V. K. *Trebovaniya k oborudovaniyu i razmeshcheniyu kamer-ubezhishch v gornoy vyrabotke* [Requirements to the equipment and placement of safety-chambers in a mine working]. *Puti povysheniya bezopasnosti gornykh rabot v ugolnoy otrasli : collection of theses of the 11th International scientific and technical conference*. Makeyevka, 2007, pp. 65-67. (In Russian)

4. Повышение эффективности применения пунктов переключения в резервные самоспасатели / В. З. Брюм, Э. Г. Ильинский, Е. И. Конопелько, А. Л. Костоманов // Горноспасательное дело : сборник научных трудов. – 2008. – Вып. 45. – С. 141 – 146.

Bryum, V. Z., Ilinskiy, E. G., Konopelko, Ye. I., Kostomanov, A. L. *Povyshenie effektivnosti primeneniya punktov pereklyucheniya v rezervnye samospasateli* [Effectiveness improvement of mine change-over stations utilization]. *Gornospasatelnoe delo : collection of scientific papers*, 2008, issue 45, pp. 141-146. (In Russian)

5. Ильинский, Э. Г. Коллективные средства защиты, созданные НИИГД «Респиратор» / Э. Г. Ильинский, Е. И. Конопелько, В. К. Овчаров // Уголь Украины. – 2008. – № 12. – С. 36 – 40.

Ilinskiy, E. G., Konopelko, Ye. I., Ovcharov, V. K. *Kollektivnye sredstva zashchity, sozdannye NIIGD "Respirator"* [Collective protection equipment designed by the NIIGD "Respirator"]. *Ugol Ukrainy*, 2008, no. 12, pp. 36-40. (In Russian)

6. Концепция создания пунктов коллективного спасения персонала при аварийной ситуации / А. А. Черепов, А. П. Ерусланов, А. С. Ярош, А. А. Трубицын, Д. А. Кузнецов, О. А. Сергеев, С.Н. Мусинов // Вестник

Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2015. – № 2. – С. 6 – 15.

Cherepov, A. A., Yeruslanov, A. P., Yarosh, A. S., Trubitsyn, A. A., Kuznetsov, D. A., Sergeyev, O. A., Musinov, S. N. *Kontseptsiya sozdaniya punktov kollektivnogo spaseniya personala pri avariynoy situatsii* [Concept of creation of collective rescue shelters for personnel in case of emergency]. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti*, 2015, no. 2, pp. 6-15. (In Russian)

7. Апальков, А. С. Безопасность шахтеров в аварийных условиях угольных шахт / А. С. Апальков, А. С. Голик, В. А. Зуборева // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2011. – № 2. – С. 81 – 83.

Apalkov, A. S., Golik, A. S., Zuboreva, V. A. *Bezopasnost shakhtyrov v avariynykh usloviyakh ugolnykh shakht* [Miners' safety in conditions of emergency in coal mines]. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti v ugolnoy promyshlennosti*, 2011, no. 2, pp. 81-83. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 26.10.2023

Aleksandr Mikhailovich Simonov, head of department; e-mail: simonov54_54@mail.ru;

Aleksandr Viktorovich Mavrodi, Cand. Sci. (Tech.), senior scientific associate;

e-mail: mavrodi-av@mail.ru;

Andrey Viktorovich Ivakhnenko, engineer of the 2nd category; e-mail: andrey_ivahnenko@mail.ru

Federal State Institution "The Scientific Research Institute "Respirator" EMERCOM of Russia"

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-34

CONDUCTION OF EMERGENCY-RESCUE OPERATIONS IN MINE WORKINGS OF COAL MINES WITH NO EMERGENCY EXIT

Objective. Ensuring safe conditions for people rescue in fires and accidents in the mine workings of coal mines with no emergency exit and ventilated by the mine ventilating pressure drop.

Methods. Analytical investigations of regulatory technical documentation on procedure of conduction the emergency-rescue operations by the mine-rescue units in coal mines.

Results. Based on the conducted studies there has been elaborated the Proposals on Completion of the Separate Sections of Emergency Plans for Mine Workings of Coal Mines with no Emergency Exit and Ventilated by the Mine Ventilating Pressure Drop.

Scientific novelty. The integrated approach to solving the issues of safe rescue of people by the mine-rescue units in case of emergencies and accidents in the mine workings with no emergency exit has been proposed and the additional requirements for drafting the separate sections of the emergency plans for the coal mines of the DPR being in the process of liquidation or working in the dry conservation mode.

Practical value. The results of investigations may be applied for completion of certain sections of emergency plans and in the development of regulatory documentation in the field of mine-rescue work and industrial safety.

Keywords: coal mine; emergency; accident; mine-rescue service; safety requirements; emergency plan; emergency exit; mine-rescue operations.

Citation: Simonov A. M., Mavrodi A. V., Ivakhnenko A. V. Vedenie avariyno-spasatelnykh rabot v gornykh vyrabotkakh shakht, ne imeyushchikh zapasnogo vykhoda [Conduction of emergency-rescue operations in mine workings of coal mines with no emergency exit]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2023, 4(60), pp. 56-63. EDN TWBPLQ.

III. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

УДК [622.23:622.411.3]:622.812

Владимир Алексеевич Канин, д-р техн. наук, вед. науч. сотр.; e-mail: vlkanin2@yandex.ru;

Юрий Анатольевич Пивень, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.; e-mail: piven22@internet.ru

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела»

283001, Донецк, ул. Челюскинцев, 291. Тел.: +7 (949) 368-06-21

О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ВЫДЕЛЕНИЯ В ШАХТАХ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ ПРИ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ УГЛЯ

Цель. Оценить объемы выделения углеводородных газов при механохимической деструкции угля в процессе его механизированной отбойки для предотвращения возможных вспышек горючих газов.

Методы. Экспериментальные исследования механохимической деструкции угля при его разрушении в шаровой мельнице.

Результаты. Показано, что при разрушении угля в шаровой мельнице происходит выделение практически всего ряда углеводородных газов. Процентное содержание тяжелых углеводородов в выделяющейся газовой смеси значительно выше, чем в природных условиях.

Научная новизна. Впервые установлено, что при механохимической деструкции угля в процессе его разрушения объем выделяющихся тяжелых углеводородов превышает объем выделяющегося при этом метана.

Практическая значимость. Результаты исследований могут быть использованы для разработки мероприятий, направленных на предотвращение вспышек горючих газов в зонах разрушения угля зубками выемочных машин и буровым инструментом.

Ключевые слова: механохимическая деструкция угля; шаровая мельница; углеводородные газы; особенности выделения газов при разрушении угля; безопасность горных работ.

Для цитирования: Канин В. А., Пивень Ю. А. О необходимости учета выделения в шахтах горючих газов при механохимической деструкции угля // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 4(60). – С. 64–73. EDN VGPNDN.

Постановка проблемы. Подземная разработка угольных месторождений неразрывно связана с выделением в горные выработки горючих газов (метана и его гомологов), которые значительно осложняют ведение горных работ. Данный тезис общеизвестен и не требует дополнительных пояснений. Но, когда речь идет о решении конкретных задач, связанных с безопасностью горных работ, далеко не праздным является вопрос генезиса этих газов.

На основании результатов выполненных исследований и опыта разработки угольных месторождений можно утверждать, что выделяющийся в угольных шахтах метан представлен несколькими источниками генерации:

- метан метаморфогенного происхождения, образовавшийся в угольных пластах и вмещающих породах *in situ* на различных этапах формирования угольного месторождения;

- метан глубинного происхождения, который по разломам кристаллического фундамента и сети тектонических нарушений в осадочной толще мигрирует в разрабатываемый горный массив, формируя зоны аномальной метанонасыщенности [1];

- метан новообразующийся, который генерируется и в настоящее время в результате химических реакций и генезис которого является наименее изученным [2].

К группе новообразующихся горючих газов можно отнести и газы, выделяющиеся при механохимической деструкции угля в процессе его механической или взрывной отбойки, при раздавливании участков угольного пласта под влиянием различных внешних причин, а также в процессе спонтанного разрушения угля при внезапных выбросах угля и газа.

Известно [3], что механохимическая деструкция¹ любого полимера приводит к уменьшению его молекулярной массы, а также к изменению его строения и физико-механических свойств. В химии высокомолекулярных соединений, к которым относятся и каменные угли, реакции деструкции используются для получения ценных низкомолекулярных веществ.

Эта сторона механохимической деструкции углей хорошо изучена при решении вопросов их коксования. В работе [4] показано, что парамагнитные центры, возникающие при измельчении угля, – радикалы, которые образуются при деструкции различных типов связей, то есть экспериментально подтвержден радикальный характер механохимических превращений углей, которые сопровождаются разрушением углерод-кислородных, углерод-углеродных и углерод-водородных связей с образованием новых атомных группировок и выделением из угля летучих веществ.

Анализ последних исследований и публикаций. Применительно к вопросам безопасности горных работ на эффект механохимической деструкции угля впервые обратил внимание Р. Л. Мюллер. Он показал [5], что при внезапном выбросе угля и газа происходит разрыв наиболее слабых связей в «бахроме» угля и образование свободных радикалов (в том числе метильных групп – CH_3) и свободного водорода, при объединении которых образуется молекула метана. По оценкам Мюллера, при энергии активации 147 кДж/моль можно ожидать дополнительного (свыше природного) выделения метана около 58 м³/т. Этим автор объясняет феномен выделения при внезапных выбросах больших количеств метана, которые в ряде случаев многократно превышали природную газоносность угольных пластов. Исследования Г. Н. Фейта [6] подтвердили выводы Мюллера, показав, что в результате механохимического

¹ *Механохимия* – раздел физической химии, изучающий химические превращения и физико-химические изменения веществ и материалов под действием механических сил. Основной акт *механохимической деструкции* – разрыв макромолекулярных цепей полимеров под действием механической энергии, в результате неравномерного распределения которой в цепи возникают местные перегрузки, превышающие прочность химической связи.

эффекта объемы метана, образующиеся из каждой тонны разрушаемого угля, могут достигать 40...50 м³ и более. В работе [7] те же авторы показали, что механохимический эффект, при котором происходит образование метана, наблюдается, когда в условиях неравнокомпонентного сжатия уголь разрушается со сдвигом под давлением более 50 МПа. В более поздней работе [8] это положение было уточнено тем, что деструкция угля при таком сжатии происходит при минимальном главном напряжении $\sigma_3 > 5\text{--}7$ МПа и отношении $\sigma_3/\sigma_1 \leq 0,33$. Механизм происхождения метана, как объединение свободных радикалов CH_2 , CH , H , образующихся при разрыве слабых связей в «бахроме» угля при внезапных выбросах угля и газа, рассматривался в работах других авторов [9]. Однако следует отметить, что в большинстве указанных работ факт механохимической деструкции угля с выделением метана устанавливался по аномальному нагреванию угольных образцов при сжатии. Это нагревание объяснялось дополнительной сорбцией метана, образовавшегося в результате разрушения угля [7, 8]. Обращает на себя внимание то, что в указанных работах при механохимической деструкции угля рассматривается только возможность выделения из него метана. В то же время широкомасштабные исследования состава газов, содержащихся в угольных пластах, убедительно показали [1], что тяжелые углеводороды, которые имеют значительно меньшую температуру воспламенения, чем метан [10], являются неотъемлемой частью газов, выделяющихся в горные выработки. Основные компоненты тяжелых углеводородов – этан и пропан. Бутан, пентан и гексан составляют тысячные доли процента, на порядок меньше в углях содержится высших углеводородов. Суммарное содержание тяжелых углеводородов в угольных пластах в большинстве случаев не превышает 1,0...2,5 %, но отмечены и повышенные количества – до 10...20 %; общее содержание тяжелых углеводородов в углях марки Ж юго-западной части Донбасса на глубинах свыше 500 м достигает 13...15 % [1].

Цель статьи – оценить объемы выделения горючих газов при механохимической деструкции угля в процессе его механизированной отбойки для предотвращения возможных вспышек горючих газов.

Изложение основного материала исследований. Механохимическая деструкция угля осуществлялась дроблением в шаровой мельнице М10, прошедшей соответствующую аттестацию, в которой энергетические параметры разрушения ближе всего соответствовали условиям разрушения угля горными машинами. Используемая нами мельница относилась к типу периодического действия и имела цилиндрический корпус объемом 10 л. В верхней части корпуса располагался люк для загрузки и выгрузки угля. Внутри корпуса электродвигателем мощностью 4,5 кВт вращался горизонтальный вал, который приводил мельницу в круговое колебательное движение (3000 колебаний в минуту с амплитудой 0,003 м). Вследствие этого загруженные в мельницу

стальные шары диаметром 0,006...0,015 м общей массой 35 кг приобретали кинетическую энергию порядка 10^3 Дж, ударяясь друг о друга и о стенки, через угольный слой в течение 10^{-5} с. При этом уголь фракции менее 6 мм массой 2,1 кг непрерывно истирался между шарами и внутренней поверхностью корпуса мельницы до частиц размерами $0,5 \cdot 10^{-3}$... $0,6 \cdot 10^{-5}$ м. Для установления объема газов, выделявшихся при разрушении угля, мельница была оснащена устройством для герметизации крышки люка, что обеспечивало полный и непрерывный отбор этих газов в процессе исследований. Для контроля давления выделявшегося газа в газоотводную трубку был врезан водяной U-образный манометр. Компонентный состав газовых проб, отобранных мокрым способом, определялся на хроматографе ЛХМ-8МД. Уголь для проведения исследований был отобран на шахте им. Калинина ГП «ДУЭК» в забое 1-й восточной лавы пласта h_{10} мощностью 1,2...1,3 м в зоне влияния Калининского надвига; газоносность пласта 20...29 м³/т с.б.м. Результаты технического анализа угля представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технический анализ угля из 1-й восточной лавы пласта h_{10}

Вид угля	Показатели		
	Влажность W_p , %	Зольность A^d , %	Выход летучих V^{daf} , %
Кусочки угля	0,9	5,2	15,4
Угольная пыль	1,1	6,8	16,7

Через 24 ч после отбойки угля его проба была доставлена в лабораторию, раздроблена и просеяна через сито с ячейкой 6×6 мм. Спустя 24 ч фракцию угля размером менее 6 мм, массой 2,1 кг поместили в вибромельницу. Для анализа компонентного состава газов, выделявшихся из разрушаемого угля, были отобраны мокрым способом две газовые пробы – через 2 (первый этап, проба № 1), 4 (второй этап, проба № 2) минуты после включения вибромельницы объемом, равным соответственно: первые две по 400 мл и третья 50 мл. Давление газа внутри вибромельницы при отборе указанных проб составляло соответственно 833,56 и 1078,73 Па. При дальнейшем разрушении угля (после 8 мин и до выключения мельницы на 16-й мин) давление газа снизилось до 0 Па. Компонентный состав проб № 1 и 2 представлен в таблице 2.

Таблица 2

Результаты хроматографического анализа проб газа № 1 и 2

Исследуемые газы	Содержание отдельных газов (об. %) в пробах	
	№ 1	№ 2
Гелий, He	0	0
Водород, H ₂	0	0
Метан, CH ₄	2,32	7,05
Этан, C ₂ H ₄	0,36	0,81
Пропан, C ₃ H ₈	0,008	0,015
Изобутан, C ₄ H ₁₀	0,0002	0,0004
Бутан, C ₄ H ₁₀	0	0,0002
Углекислый газ, CO ₂	0,5	0,7
Кислород, O ₂	19	17,5
Азот, N ₂	77	73

Как видно из табличных данных, в исследованных пробах было установлено присутствие газов, характерных для воздуха с примесью метана и его гомологов (в пробе № 1 – 2,688 %; в пробе № 2 – 7,876 %, при фоновом их содержании в воздухе 0,0002 %), и повышенное содержание CO₂ (в пробе № 1 – 0,5 %; в пробе № 2 – 0,7 %, при фоновом значении 0,03 %). Судя по этим данным, выделение углеводородов и CO₂ в таком количестве могло произойти только из угля в процессе его разрушения. Объем газов в пробах составлял 400 мл; объем газов, остававшихся внутри корпуса мельницы, определяли по результатам газовой хроматографии, объему внутреннего пространства корпуса мельницы, свободного от объема стальных шаров (4450 мл), и объему помещенного в мельницу угля (1500 мл), равного 2950 мл. Газ, растворенный в воде, к учету не принимали. Результаты определения количественного состава углеводородных газов, выделившихся при разрушении угля на каждом из двух этапов и в целом, представлены в таблице 3.

Как видно из таблицы 3, в первые 2 мин разрушения угля из него выделилось 119,6 мл углеводородов, включая 103,2 мл (86,3 %) метана и 16,4 мл (13,7 %) гомологов. Через 4 мин разрушения угля из него выделилось 241,6 мл углеводородов, включая 219,8 мл (91 %) метана и 21,8 мл (9 %) гомологов. Прежде чем анализировать полученные результаты, следует обратить внимание на следующие особенности выделения метана и гомологов, выявленные в целом и на каждом этапе разрушения угля.

Таблица 3

Количество углеводородных газов, выделившихся при разрушении угля
в шаровой вибромельнице на двух этапах исследований

Газ	Этапы исследований								Общее количество углеводородных газов, выделившихся при разрушении угля		
	I				II						
	Содержание газа, мл		Всего		Содержание газа, мл		Всего				
	в пробе	внутри мельницы	мл	%	в пробе	внутри мельницы	мл	%	мл	%	
Метан	9,28	93,96	103,24	86,30	28,20	191,56	219,76	90,963	323,00	89,420	
Этан	1,44	14,58	16,02	13,39	3,24	18,23	21,47	8,887	37,49	10,379	
Пропан	0,032	0,324	0,356	0,30	0,06	0,284	0,344	0,142	0,70	0,194	
Изобутан	0,001	0,008	0,009	0,01	0,002	0,008	0,010	0,004	0,019	0,005	
Бутан	0,000	0,000	0,000	0,00	0,001	0,008	0,009	0,004	0,009	0,002	
Итого			119,625	100,0	Итого			241,593	100,00	361,218	100,0

При работе вибромельницы в течение 16 мин выделение газов при разрушении угля продолжалось в течение 8 мин. В интервале времени 0...2 мин давление поднялось от 0 до 833,56 Па, в интервале 2...4 мин – до 1078,73 Па, а на 8-й мин снизилось до нуля.

На втором этапе при разрушении угля в интервале времени 2...4 мин метана в абсолютном выражении выделилось в 2,1 раза больше, чем на первом этапе, а тяжелых углеводородов в 1,3 раза больше, при этом этана выделилось в 1,3 раза больше, пропана и изобутана – то же количество и незначительное количество (0,009 мл) бутана, который на первом этапе отсутствовал.

В пробах газа, выделявшегося из шпуров в забое 1-й восточной лавы пласта h_{10} на шахте им. Калинина, содержание метана составляло 78,8...88,7 %, гомологов – 5,26...6,61 %, в том числе: этана 4,2...4,7 %, пропана 0,11...0,12 %, бутана 0,95...1,79 %. При измельчении угля в вибромельнице в пробах газа содержание метана составляло 86,3...90,96 %, содержание гомологов (9,0...13,7 %), в том числе: этана 8,9...13,4 %; пропана 0,14...0,3 %; изобутана 0,004...0,01 %; бутана 0,004 %.

Важная константа, определяющая сорбируемость различных газов на одном и том же сорбенте, – температура их кипения ($T_{\text{кип}}$) – чем она выше, тем лучше этот газ сорбируется. У метана $T_{\text{кип}}$ равна $-161,5^{\circ}\text{C}$, у этана $-88,63^{\circ}\text{C}$, у пропана $-42,1^{\circ}\text{C}$, у изобутана $-11,7^{\circ}\text{C}$, у бутана $-0,5^{\circ}\text{C}$. Десорбция газов происходит в обратном порядке. Поэтому при разрушении угля, независимо от того, где этот уголь разрушается – в лабораторных условиях или в процессе его добычи в шахте, – вначале выделяется метан, а затем остальные газы в порядке возрастания их температуры кипения.

Всего за 4 мин разрушения 2,1 кг дегазированного угля в процессе описанного эксперимента из него выделилось 361,2 мл углеводородных газов, или $0,17 \text{ м}^3/\text{т}$. В масштабах выделения метана в очистных забоях это мало. Но если, например, работает угольный комбайн 1ГШ68, который одним шнеком за 4 мин может разрушить до 15 т угля, то выделение такого количества углеводородных газов даже на негазовой шахте может привести к серьезным авариям.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Особенности выделения углеводородных газов при механохимической деструкции угля в шаровой мельнице заключаются в следующем:

1. Выделение газов при разрушении угля, несмотря на его предварительное измельчение ($< 6 \text{ мм}$) и дегазацию, происходит сразу после начала разрушения. При этом абсолютные значения выделения метана, этана, пропана и бутана на всех этапах разрушения соотносятся в строгом соответствии со значениями их температуры кипения.

2. Если в начале эксперимента (до 2 мин) метана выделилось в 6,4 раза больше, чем этана, то при дальнейшем увеличении степени помола угля (в течение 2...4 мин) метана выделилось уже в 10,2 раза больше, чем этана, при относительном постоянстве выделения остальных его гомологов. Выделение метана, по нашему мнению, могло увеличиться только в результате механохимической деструкции угля.

Перспективы дальнейших исследований в данном направлении – установление закономерностей выделения метана и этана в процессе механохимической деструкции угля при его комбайновой и взрывной отбойке.

Список литературы / References

1. Канин, В. А. Приуроченность локальных скоплений горючих газов в угольных шахтах к разломам кристаллического фундамента / В. А. Канин, А. А. Тараник, М. М. Довбнич // Геотехническая механика : межведомственный сборник научных трудов. – 2010. – Вып. 87. – С. 52 – 57.

Kanin, V. A., Taranik, A. A., Dovbnich, M. M. *Priurochennost lokalnykh skopleniy goryuchikh gazov v ugolnykh shakhtakh k razlomam kristallicheskogo*

fundamenta [Confinement of flammable gases local accumulations to crystalline foundation faults in coal mines]. *Geotekhnicheskaya mekhanika : interdepartmental collection of scientific papers*, 2010, issue 87, pp. 52-57. (In Russian)

2. Природа шахтного метана / А. Алексеев, Е. Ульянова, О. Разумов, В. Канин, А. Скоблик, А. Тараник // *Energyonline*. – 2010. – № 1(2). – 17 p.

Alekseyev, A., Ulyanova, Ye., Razumov, O., Kanin, V., Skoblik, A., Taranik, A. *Priroda shakhtnogo metana* [The nature of mine methane]. *Energyonline*, 2010, no. 1(2), 17 p. (In English)

3. Хренкова, Т. М. Механохимическая активация углей / Т. М. Хренкова. – Москва : Недра, 1993. – 176 с.

Khrenkova, T. M. *Mekhanokhimicheskaya aktivatsiya ugley* [Mechanochemical activation of coals]. Moscow, Nedra Publ., 1993, 176 p. (In Russian)

4. К вопросу о парамагнитном поглощении в антрацитах / Ю. Н. Недошивин, Н. В. Фролова, В. И. Касаточкин, В. Я. Посыльный // *Химия твердого топлива*. – 1973. – № 1. – С. 141 – 143.

Nedoshivin, Yu. N., Frolova, N. V., Kasatochkin, V. I., Posylnyy, V. Ya. *K voprosu o paramagnitnom pogloshchenii v antratsitakh* [On the issue of paramagnetic absorption in anthracites]. *Khimiya tverdogo topliva*, 1973, no. 1, pp.141-143. (In Russian)

5. Мюллер, Р. Л. К вопросу о возможной роли химических процессов при внезапных выбросах угля и газа в угольных шахтах / Р. Л. Мюллер // *Вопросы теории внезапных выбросов угля и газа : сборник*. – Москва : Изд-во ИГД АН СССР, 1959. – С. 156 – 172.

Myuller, R. L. *K voprosu o vozmozhnoy roli khimicheskikh protsessov pri vnezapnykh vybrosakh uglya i gaza v ugolnykh shakhtakh* [On the question of the possible role of chemical processes in sudden emissions of coal and gas in coal mine]. *Voprosy teorii vnezapnykh vybrosov uglya i gaza : collection of works*. Moscow, IGD AN SSSR Publ., 1959, pp. 156-172. (In Russian)

6. Фейт, Г. Н. Эффект образования метана и дополнительной сорбции при разрушении газонасыщенного угля в условиях объемного напряженного состояния / Г. Н. Фейт, О. Н. Малинникова // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2004. – Вып. 8. – С. 153 – 164.

Feyt, G. N., Malinnikova, O. N. *Effekt obrazovaniya metana i dopolnitelnoy sorbtsii pri razrushenii gazonasyshchennogo uglya v usloviyakh obyemnogo napryazhennogo sostoyaniya* [The effect of methane formation and additional sorption during the destruction of gas-saturated coal under volumetric stress conditions]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2004, issue 8, pp. 153-164. (In Russian)

7. Фейт, Г. Н. Механохимические процессы метанообразования в угольных пластах в условиях высоких напряжений / Г. Н. Фейт, О. Н. Малинникова // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – Тематическое приложение «МЕТАН». – 2006. – С. 192 – 205.

Feyt, G. N., Malinnikova, O. N. *Mekhanokhimicheskiye protsessy metanoobrazovaniya v ugolnykh plastakh v usloviyakh vysokikh napryazheniy* [Mechanochemical processes of methane formation in coal seams under high stress conditions]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten, METAN specialist supplement*, 2006, pp. 192-205. (In Russian)

8. Малинникова, О. Н. Условия формирования и методология прогнозирования газодинамических явлений при техногенном воздействии на угольные пласты : специальность 25.00.20 «Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» (технические науки) : автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук. – Москва, 2011. – 269 с.

Malinnikova, O. N. *Usloviya formirovaniya i metodologiya prognozirovaniya gazodinamicheskikh yavleniy pri tekhnogennom vozdeystvii na ugolnyye plasty* [Conditions for the formation and methodology for predicting gas-dynamic phenomena under technogenic impact on coal seams : 25.00.20 “Geomechanics, rocks shuttering by explosion, mining aerogas dynamics and mining thermal physics” (technical sciences) specialty: Candidate of technical sciences thesis synopsis]. Moscow, 2011, 269 p. (In Russian)

9. Фролков, Г. Д. Механохимическая концепция выбросоопасности угольных пластов / Г. Д. Фролков, А. Г. Фролков // Уголь. – 2005. – № 2. – С. 18 – 21.

Frolkov, G. D., Frolkov, A. G. *Mekhanokhimicheskaya kontseptsiya vybrosoopasnosti ugolnykh plastov* [Mechanochemical concept of coal seams outburst hazard]. *Ugol*, 2005, no. 2, pp. 18-21. (In Russian)

10. Взрывоопасные компоненты рудничного газа / В. А. Канин, А. М. Тихолиз, А. А. Голубев, А. В. Пашченко // Уголь Украины. – 2005. – № 7. – С. 28 – 30.

Kanin, V. A., Tikheliz, A. M., Golubev, A. A., Pashchenko, A. V. *Vzryvoopasnyye komponenty rudnichnogo gaza* [Explosive components of afterdamp]. *Ugol Ukrainy*, 2005, no. 7, pp. 28-30. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 05.12.2023

Vladimir Alekseyevich Kanin, Dr. Sci. (Tech.), leading scientific associate; e-mail: vlkanin2@yandex.ru;
Yury Anatolyevich Piven, Cand. Sci. (Tech.), leading scientific associate; e-mail: piven22@internet.ru
Federal State Budget Scientific Institution "Republican Academic Research and Design Institute
of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying"
283001, Donetsk, 291, ulitsa Chelyuskintsev. Phone: +7 (949) 368-06-21

ON NECESSITY OF TAKING INTO ACCOUNT THE FLAMMABLE GASSES EMISSION IN MINES DURING MECHANOCHEMICAL RUPTURE OF COAL

Objective. To assess the hydrocarbon gases emission volumes in the process of mechanochemical rupture of coal using the mechanized breaking for prevention of flammable gases flashes.

Methods. Experimental studies of the mechanochemical rupture of coal in the process of crashing it in the grinding mill.

Results. It was demonstrated that when coal being crashed in the grinding mill the emission of almost all range of hydrocarbon gases occurs. The percentage of heavy hydrocarbons in the emitted gas mix exceeds the one in the natural environments.

Scientific novelty. It was established for the first time that during the mechanochemical rupture of coal in the process of its crashing the emitted heavy hydrocarbons volume exceeds the amount of the emitted methane.

Practical value. The results of studies may be applied in development of measures aimed at prevention of the flammable gases flashes in the areas with coal destructed by the extracting machine picks and drilling devices.

Keywords: *coal mechanochemical destruction; grinding mill; hydrocarbon gases; gas emission specifics under coal destruction; mining works safety.*

Citation: Kanin V. A., Piven Yu. A. O neobkhodimosti uchyota vydeleniya v shakhtakh goryuchikh gazovpri mekhanokhimicheskoy destruktzii uglya [On necessity of taking into account the flammable gasses emission in mines during mechanochemical rupture of coal]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2023, no. 4(60), pp. 64-73. EDN VGPNDN.

УДК 622.867-051:620.1.05"Тепловая камера"

Владимир Михайлович Медгаус, нач. отд.; e-mail: vladimir_medgaus@mail.ru;

Юрий Иванович Лирик, инж.; e-mail: lirik-soniko@mail.ru

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-50

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ СТЕНДА ТЕПЛОВАЯ КАМЕРА ТК-50

Цель. Усовершенствование стенда Тепловая камера ТК-50 современными средствами контроля микроклиматических параметров, устройствами для эффективного поддержания температуры внутри помещения камеры, уменьшением потребляемой нагревателями мощности для оценки тепловой устойчивости спасателей.

Методы. Анализ современных систем управления микроклиматом помещений и характеристик теплоизоляционных негорючих материалов. Расчеты мощности нагревателей для увеличения и поддержания температуры воздуха и конструкций помещения стенда Тепловая камера ТК-50.

Результаты. На основании теплового расчета выбраны нагреватели и размещены с учетом равномерного распределения электрической мощности между фазами сети. Реализована схема управления микроклиматом с разогревом наиболее холодной зоны и поддержанием заданной температуры внутри помещения стенда.

Научная новизна. Впервые для создания и поддержания микроклимата в помещении стенда Тепловая камера ТК-50 применены инфракрасные керамические излучатели, работой которых управляют контроллеры температуры посредством твердотельных реле.

Практическая значимость. Усовершенствованный стенд Тепловая камера ТК-50 может быть использован для оценки тепловой устойчивости и тепловых тренировок, а также для разработки и испытаний средств противотепловой защиты спасателей.

Ключевые слова: *тепловая устойчивость; пульт управления; силовой шкаф; температура; инфракрасный керамический излучатель; уменьшение потребляемой мощности.*

Для цитирования: Медгаус В. М., Лирик Ю. И. Усовершенствование системы управления микроклиматом стенда Тепловая камера ТК-50 // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 4(60). – С. 74–81. EDN YEHESI.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. При ведении аварийно-спасательных работ и тушении пожаров на наземных и подземных объектах организм пожарного-спасателя и горноспасателя подвержен воздействию высокой температуры и влажности. Во время высокой физической и тепловой нагрузки, а также при использовании средств индивидуальной защиты органов дыхания увеличиваются энергозатраты организма. Поэтому для уменьшения риска нарушения теплового баланса организма еще на этапе профессионального отбора необходимо оценивать тепловую устойчивость организма пожарного-спасателя.

Проведя объективную оценку тепловой устойчивости стажеров и учитывая регулярные тепловые тренировки спасателей, пришли к выводу, что требуется поддерживать температуру в помещении стенда Тепловая камера ТК-50 на уровне 40 ± 2 °C при влажности 85 ± 5 % [1]. Чтобы соблюсти эти требования, необходимо усовершенствовать систему управления микроклиматом стенда Тепловая камера ТК-50 для поддержания заданных параметров температуры и влажности, уменьшения потребления электроэнергии и времени подготовки стенда к работе.

Анализ последних исследований. Современные камеры, выпускаемые НПФ «РЕОМ», близкие по габаритам и микроклиматическим параметрам стенду Тепловая камера ТК-50, также имеют принудительную циркуляцию воздуха во внутреннем объеме и систему управления с микропроцессорным ПИД регулятором, но потребляемая мощность в 1,5 раза больше. Многофункциональный тренировочный комплекс для моделирования аварийных ситуаций и проведения тренировок личного состава ВГСЧ МЧС России и теплодымокамеры предназначены для проведения занятий по подготовке и адаптации личного состава подразделений ГПС для работы в непригодной для дыхания среде. Однако это оборудование невозможно использовать для оценки тепловой устойчивости пожарных и горноспасателей. Следовательно, на сегодняшний день усовершенствование оборудования для оценки тепловой устойчивости горноспасателей и пожарных на стадии профессионального отбора – перспективное направление исследований.

Цель работы – усовершенствование стенда Тепловая камера ТК-50 современными средствами контроля микроклиматических параметров, устройствами для эффективного поддержания температуры внутри помещения камеры, уменьшением потребляемой нагревателями мощности для оценки тепловой устойчивости спасателей.

Разработанные в процессе усовершенствования стенда Тепловая камера ТК-50 «Методические рекомендации по оценке тепловой устойчивости спасателей в Тепловой камере ТК-50» позволяют снизить риск тепловых поражений, повысить уровень подготовки спасателей и эффективность выполнения аварийно-спасательных работ.

Результаты исследования. Анализ конструкции, принципа действия и состояния средств создания и поддержания температуры и влажности стенда Тепловая камера ТК-50 определил направления усовершенствования системы создания микроклимата. Так, установленная мощность нагревателей стенда составляла 120 кВт, а время достижения и стабилизации требуемой температуры воздуха 40°C и влажности 85% – 24 часа.

В начале работ по усовершенствованию стенда Тепловая камера ТК-50 был выполнен тепловой расчет мощности электрооборудования для

создания микроклимата помещения стенда в соответствии с требованиями, изложенными в СНиП II-Л.13-62 «Нормы проектирования» и СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий». Для теплоизоляции и пароизоляции было принято решение использовать современные негорючие материалы.

Исходные данные для расчета:

- температура воздуха – 150 ± 10 °С;
- относительная влажность – 98 ± 2 %, измеренная при 60 °С.
- размеры помещения: ширина – 4,66 м; длина – 3,8 м; высота – 2,3 м.

Количество теплоты Q , Вт·ч, необходимое для нагрева воздуха, определили по следующей формуле:

$$Q = mC(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (1)$$

где m – масса воздуха в помещении камеры, кг;
 C – удельная теплоемкость, Вт·ч/(кг·°С);
 $\Delta T = (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})$ – разность температур внутри и снаружи камеры;
 $t_{\text{в}}$ – температура воздуха внутри камеры, °С;
 $t_{\text{н}}$ – температура воздуха снаружи камеры, °С.

Тогда, подставив в уравнение (1) соответствующие значения, получим $Q_{\text{в}} = 1910,79$ Вт·ч.

Количество теплоты Q , требуемое для нагрева конструкций помещения тепловой камеры, определили по формуле (1) с учетом характеристик использованных материалов и глубины прогрева 0,020 м.

После подстановки соответствующих значений получили $Q_{\text{к}} = 8753,95$ Вт·ч.

Общее количество теплоты на предварительный нагрев воздуха и конструкций составило $Q_{\text{об}} = 10664,74$ Вт·ч.

Для компенсации потерь через поверхность конструкций площадью S в час потребуется количество теплоты, определенное по следующей формуле:

$$Q_{\text{п}} = S(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})/R_0, \quad (2)$$

где S – площадь поверхности ограждающей конструкции по внутренним размерам помещения, м²;

$t_{\text{в}}$ – температура на внутренней стороне ограждающей конструкции, °С;

$t_{\text{н}}$ – температура с внешней стороны ограждающей конструкции, °С;

R_0 – общее сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции, м²·°С/Вт.

$$R_0 = R_{\text{в}} + R_{\text{н}} + R_{\text{к}} = 1/\alpha_{\text{в}} + 1/\alpha_{\text{н}} + \sum \delta_i/\lambda_i, \quad (3)$$

где $R_{\text{к}}$ – термическое сопротивление отдельных слоев, составляющих ограждающую конструкцию, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

δ_i – толщина слоя материала в ограждении, м;

λ_i – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, принимаемый по Приложению 3 СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника».

В качестве нагревателей применили современные эффективные инфракрасные излучатели ECSG с рефлекторами, работой которых управляют три контроллера температуры.

Предложено и реализовано оптимальное размещение инфракрасных излучателей (рис. 1). Пятнадцать излучателей установлены по периметру помещения стенда Тепловая камера ТК-50 через равные расстояния на высоте 0,3 м от пола. Для равномерного распределения электрической мощности между фазами излучатели подключены по пять на каждую фазу и размещены по зонам нагрева. После стабилизации температуры, по мере необходимости, контроллер температуры включает излучатели в наиболее холодной зоне.

Такое размещение инфракрасных излучателей и их зонирование позволили уменьшить общую потребляемую мощность нагревателей до 22,5 кВт и сократить время стабилизации температуры воздуха на уровне плюс 40 °С до 0,5 часа.

Параметры нагревающего микроклимата в соответствии с КД 12.08.09.001-2000 «Определение работоспособности горноспасателей. Руководство» НИИГД «Респиратор» создает и поддерживает система управления микроклиматом усовершенствованного стенда Тепловая камера ТК-50.

Проверка работоспособности системы управления микроклиматом стенда Тепловая камера ТК-50 проведена в трех режимах температуры: 25 °С, 40 °С, 60 °С (рис. 2).

При проверке было установлено, что независимо от температурного режима стабилизация температуры воздуха внутри стенда наступает в течение 40 мин.

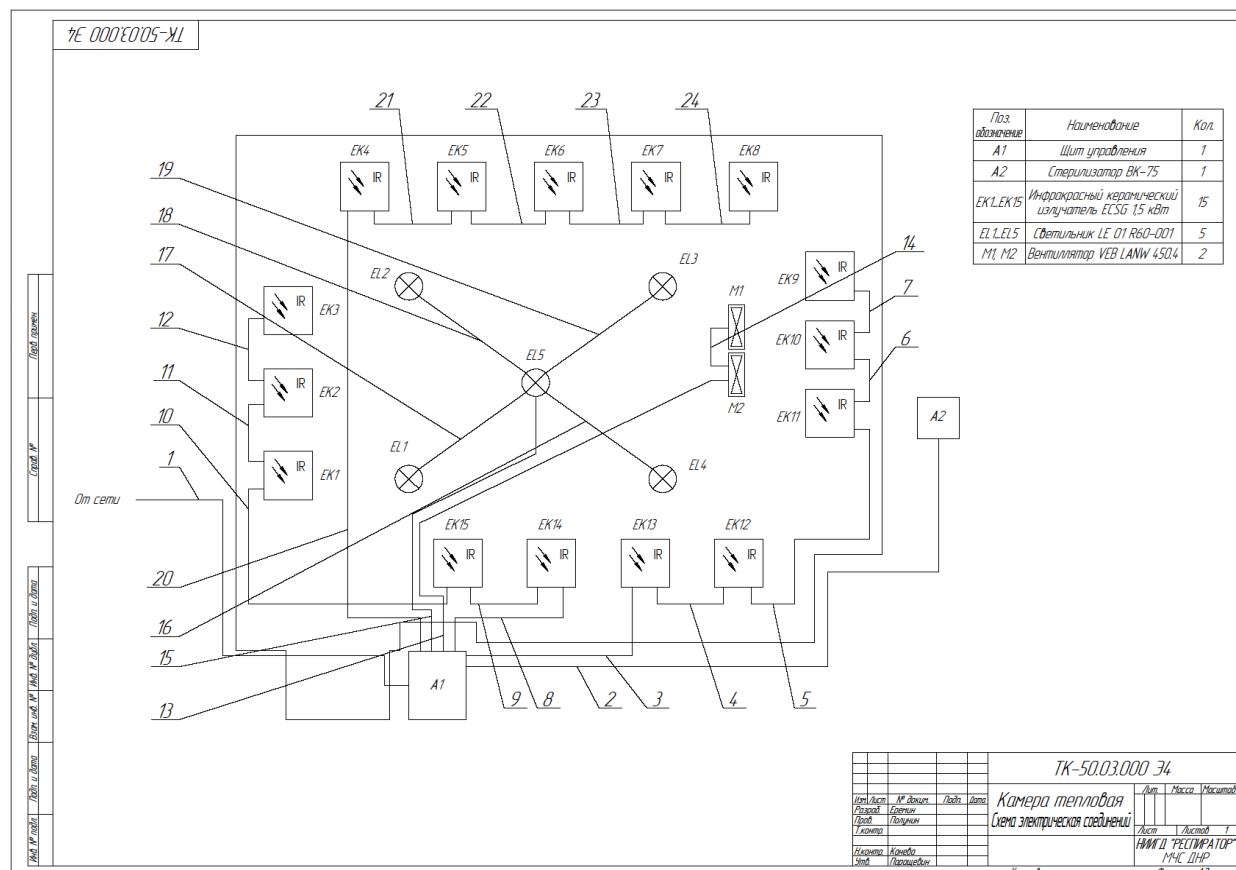


Рис. 1. Схема размещения инфракрасных излучателей и распределение между фазами сети

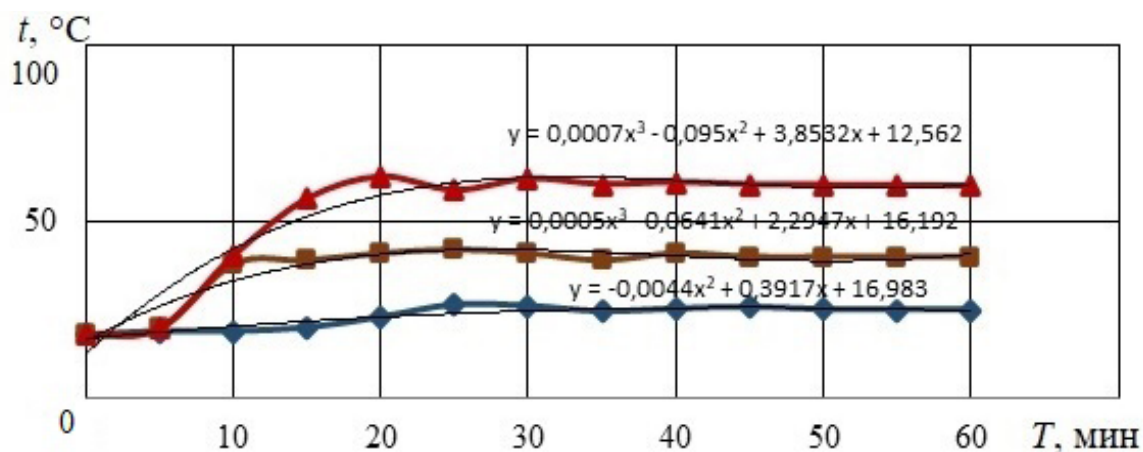


Рис. 2. Температура воздуха в помещении стенда Тепловая камера ТК-50 после усовершенствования:

— 25 °C; — 40 °C; — 60 °C

После стабилизации необходимой температуры воздуха включают парогенератор, который в течение 15...20 мин создает внутри стенда

относительную влажность 85 ± 5 %. Работой парогенератора управляет контроллер влажности.

После стабилизации микроклиматических параметров стенд готов для оценки тепловой устойчивости.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Тепловой расчет помещения стенда Тепловая камера ТК-50 позволил определить необходимое количество инфракрасных излучателей для создания повышенной температуры воздуха внутри помещения стенда. Для системы управления микроклиматом применены современные контроллеры температуры и контроллер влажности. Усовершенствован стенд Тепловая камера ТК-50 и проверена его работоспособность в трех температурных режимах при повышенной влажности. Получен график повышения температуры воздуха в помещении стенда Тепловая камера ТК-50. Электрическая мощность нагревателей при подготовке стенда к работе уменьшена в 6 раз, а время перехода в рабочий режим уменьшено в 24 раза.

Точное поддержание микроклиматических параметров системой управления стенда Тепловая камера ТК-50 позволяет объективно оценивать тепловую устойчивость спасателей и проводить тепловые тренировки для повышения теплоадаптивности.

На основании анализа данных исследования в тепловой камере получена возможность предотвратить критические тепловые состояния спасателей при ведении аварийных работ в условиях нагревающего микроклимата.

Список литературы / References

1. Математическая модель системы управления температурным полем камеры термической обработки / С. В. Быстров, В. В. Григорьев, О. К. Мансурова, И. М. Першин, М. И. Першин // Приборостроение. – 2015. – № 9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-sistemy-upravleniya-temperaturnym-polem-kamery-termicheskoy-obrabotki> (дата обращения: 16.10.2023).

Bystrov, S. V., Grigoryev, V. V., Mansurova, O. K., Pershin, I. M., Pershin, M. I. *Matematicheskaya model sistemy upravleniya temperaturnym polem kamery termicheskoy obrabotki* [Mathematical model of control system for temperature field of the heat treatment chamber]. *Priborostroenie*, 2023, no. 9. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-sistemy-upravleniya-temperaturnym-polem-kamery-termicheskoy-obrabotki> (accessed 16.10.2023). (In Russian)

2. Study on Calibration of Artificial Climate Chamber for Biological Application / W. Gong, W. Zhang, T. Ren, L. Zeng, L. Feng // Bio Web of Conferences. – 2023. –

№ 59(03007). – URL: https://www.researchgate.net/publication/370627810_Study_on_Calibration_of_Artificial_Climate_Chamber_for_Biological_Application (дата обращения: 16.10.2023).

3. Palani, H. Innovative Environmental Chamber Construction for Accurate Thermal Performance Evaluation of Building Envelopes in Varied Climates / H. Palani, A. Karatas // Buildings. – 2023. – № 13(5). URL: https://www.researchgate.net/publication/370710056_Innovative_Environmental_Chamber_Construction_for_Accurate_Thermal_Performance_Evaluation_of_Building_Envelopes_in_Varied_Climates (дата обращения: 10.10.2023).

4. Yang, R. Research on the thermal environment in a climate chamber with different high-temperature combinations / R. Yang, L. Yang, J. Wei // Advances in Building Energy Research. – 2023. – № 17 URL: https://www.researchgate.net/publication/374800749_Research_on_the_thermal_environment_in_a_climate_chamber_with_different_high-temperature_combinations (дата обращения: 16.10.2023).

5. Павлов, А. С. Работоспособность и температурный гомеостаз в экстремальных условиях : Function ability and temperature homeostasis in extreme conditions : монография / А. С. Павлов. – Донецк, 2008. – 150 с.

Pavlov, A. S. *Rabotosposobnost i temperaturnyy gomeostaz v ekstremalnykh usloviyakh : monografiya* [Function ability and temperature homeostasis in extreme conditions: monograph]. Donetsk, 2008, 150 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 29.11.2023

Vladimir Mikhaylovich Medgaus, head of department; e-mail: vladimir_medgaus@mail.ru;

Yury Ivanovich Lirik, engineer; e-mail: lirik-soniko@mail.ru

*Federal State Institution “The Scientific Research Institute “Respirator” EMERCOM of Russia”
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-50*

MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM UPGRADE OF THE TK-50 CLIMATE CHAMBER

Objective. The TK-50 climate chamber upgrade by the modern microclimate parameters control equipment, devices for the effective indoor temperature maintenance and by reducing the heaters power consumption for the rescuers’ thermal tolerance assessment.

Methods. Analysis of the state-of-art indoor microclimate control systems and the characteristics of current inflammable thermal insulation materials. The calculations of the heaters capacity for elevating and maintaining the temperature of air and constructions of the TK-50 climate chamber premises.

Results. Based on the thermal design results the heaters were selected and installed taking into account the power capacity equipartitions between the circuit phases. The microclimate control design with the coldest area heating and required indoor temperature maintenance was implemented.

Scientific novelty. For the first time ever for the creation and maintenance of the TK-50 climate chamber indoor microclimate there were installed the infrared ceramic emitters controlled by temperature checkers with the solid-state relays.

Practical value. The upgraded TK-50 climate chamber may be used for thermal trainings and thermal tolerance assessment as well as for the development and testing of the rescuers' heat-resistant protective gear.

Keywords: *thermal tolerance; console unit; power control box; temperature; infrared ceramic emitter; power consumption reduction.*

Citation: Medgaus V. M., Lirik Yu. I. Uovershenstvovanie sistemy upravleniya mikroklimatom stenda Teplovaya kamera TK-50 [Microclimate control system upgrade of the TK-50 climate chamber]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2023, no. 4(60), pp. 74-81. EDN YEHESI.

УДК 614.842.862"364"*Елена Ивановна Добрякова, науч. сотр.; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru**Федеральное государственное казенное учреждение**«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»**283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-44*

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВОЕННОГО КОНФЛИКТА

Цель. Обосновать методологические подходы к определению необходимого количества пожарно-спасательных подразделений МЧС России по ДНР в условиях военного конфликта для повышения эффективности их работы.

Методы. Аналитические исследования методологических подходов к определению количества и мест дислокации в Российской Федерации и критический анализ возможности их применения в условиях военного конфликта на территории Донецкой Народной Республики.

Результаты. Для обоснования особенностей методологических подходов к определению необходимого количества пожарно-спасательных подразделений МЧС в условиях военного конфликта рассмотрены существующие модели расчета необходимого количества пожарно-спасательных подразделений, используемые в условиях мирного времени, и дана оценка возможности их применения в условиях военного конфликта.

Научная новизна. Впервые разработаны требования к расчету необходимого количества пожарно-спасательных подразделений в Донецкой Народной Республике в условиях военного конфликта, что позволит повысить эффективность их работы.

Практическая значимость. Создание необходимой нормативной базы для принятия управленческих решений по организации службы МЧС России по ДНР путем использования результатов графической оценки расчетных зон пожарно-спасательных подразделений.

Ключевые слова: *пожар; время прибытия; пожарно-спасательное подразделение; скорость движения; пожарный автомобиль; критерии образования.*

Для цитирования: *Добрякова Е. И. Обоснование методологических подходов к определению необходимого количества пожарно-спасательных подразделений в условиях военного конфликта // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 4(60). – С. 82–94. EDN ZMFWVA.*

Постановка проблемы. На территории Донецкой Народной Республики силами пожарно-спасательных подразделений обеспечивается выполнение задач по ликвидации пожаров в сложных условиях многолетнего военного конфликта. В связи с этим перед ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» была поставлена задача разработать методологические подходы к оценке готовности сил МЧС России по ДНР выполнять свои функции в условиях военного конфликта путем обоснования необходимого количества пожарно-спасательных подразделений с учетом условий воздействия внешних факторов на систему обеспечения пожарной безопасности.

Особенность изучаемой ситуации заключается в том, что в населенных пунктах Донецкой Народной Республики, подвергающихся обстрелам, работают предприятия и проживает значительная часть населения, вследствие чего уже на начальных этапах военного конфликта здесь были организованы системы обеспечения пожарной безопасности и жизнедеятельности. На государственном уровне инициированы исследования по выявлению проблем, влияющих на работу МЧС России по ДНР. Постановлениями правительства Донецкой Народной Республики были утверждены необходимые нормативные показатели для анализа эффективности ликвидации пожаров и перспективы развития системы обеспечения пожарной безопасности на территории республики. Основным нормативный показатель – время прибытия первого пожарно-спасательного подразделения к месту вызова. Сокращения времени прибытия пожарной техники можно добиться, уменьшив зону ответственности пожарной части за счет строительства дополнительных пожарных депо. Как свидетельствуют практические результаты по организации ликвидации пожаров, полученные МЧС ДНР в условиях многолетнего военного конфликта, время прибытия – один из важнейших факторов обеспечения выполнения поставленных задач. Следовательно, очевидна необходимость в обосновании оптимального количества пожарно-спасательных подразделений МЧС России по ДНР в условиях военного конфликта.

Анализ последних исследований. На этапе формирования системы обеспечения пожарной безопасности Донецкой Народной Республики обоснование необходимого количества пожарно-спасательных подразделений, их ресурсной потребности и установление мест дислокации проводилось на основании принятых постановлениями правительства Донецкой Народной Республики нормативных показателей.

В связи с воссоединением Донецкой Народной Республики с Российской Федерацией определение необходимого количества и мест дислокации пожарно-спасательных подразделений МЧС России по ДНР должно выполняться по методологии, которая действует в России. Однако, учитывая, что указанные методические подходы рассчитаны для условий мирного времени, а стоящие перед МЧС России по ДНР задачи по ликвидации пожаров решаются в условиях военного конфликта, требуются иные подходы к оценке возникающих угроз и путей совершенствования организации системы обеспечения пожарной безопасности в экстремальных условиях.

Цель исследования – обосновать методологические подходы к определению необходимого количества пожарно-спасательных подразделений МЧС России по ДНР в условиях военного конфликта для повышения эффективности их работы.

Изложение основного материала. Исследования позволили выделить основные задачи совершенствования методологических подходов

к организации системы обеспечения пожарной безопасности в условиях продолжительного военного конфликта, такие как:

- формирование устойчивой организации обеспечения безопасности работы тыла необходимо в условиях ведения боевых действий и невозможно без повышения готовности сил пожарно-спасательных подразделений к защите населения и материальных ценностей от пожаров и других чрезвычайных ситуаций, в том числе путем совершенствования системы управления пожарно-спасательными подразделениями и оптимизации их численности;

- поражение промышленных и гражданских объектов на территории Донецкой Народной Республики вследствие обстрелов увеличивает масштабность возникновения крупных затяжных пожаров. Проблемы с водоснабжением ухудшают условия их ликвидации. Поэтому вопросы ресурсного обеспечения пожарно-спасательных подразделений и соблюдение нормативного времени прибытия к месту вызова приобретают приоритетное значение для обеспечения устойчивой работы системы;

- обоснование методологических подходов к определению необходимого количества и мест дислокации пожарно-спасательных подразделений в условиях военного конфликта позволит обеспечить выполнение поставленных перед МЧС ДНР задач и безопасность личного состава.

Для моделирования изучаемого процесса в рамках проведенных исследований выполнена оценка нормативных требований по определению необходимого количества и мест дислокации пожарно-спасательных подразделений, установленных в Российской Федерации, на возможность применения в условиях военного конфликта. Основные направления формирования требований пожарной безопасности к размещению зданий пожарных депо на территориях населенных пунктов РФ приведены в таблице 1.

Таблица 1

Требования пожарной безопасности к размещению зданий пожарных депо на территориях населенных пунктов РФ

№ п/п	Основные направления	Формулировка требований
1	Нормирование времени прибытия первого подразделения к месту вызова	Время прибытия первого подразделения к месту вызова для: • городских населенных пунктов ≤ 10 мин; • сельских населенных пунктов ≤ 20 мин
2	Места размещения подразделений пожарной охраны	Размещение в зданиях пожарных депо
3	Нормативное обеспечение рассматриваемого вопроса	Устанавливается нормативными документами по пожарной безопасности (стандартами, сводами правил и др.)

Как следует из данных таблицы 1, в качестве основного показателя, применяемого в Российской Федерации для определения необходимого количества и мест дислокации подразделений пожарной охраны, приняты нормативы времени прибытия первого пожарно-спасательного подразделения к месту вызова. Разработанная ФГКУ НИИ «Респиратор» методика применения Критериев образования государственных пожарно-спасательных подразделений в административно-территориальных единицах [утверждена Министром МЧС ДНР 19.02.2021] (далее – Методика НИИ «Респиратор») основана на обеспечении соблюдения аналогичных нормативных показателей.

В рамках исследования методологии Российской Федерации по определению необходимого количества и мест дислокации пожарно-спасательных подразделений рассмотрим порядок расчета, изложенный в:

- СП 11.13130.2009 «Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения» (далее – Методика СП);

- «Методических рекомендациях по определению мест размещения подразделений пожарной охраны в населенных пунктах в целях доведения времени прибытия подразделения пожарной охраны до нормативных значений», утвержденных Главным государственным инспектором Российской Федерации по пожарному надзору генерал-полковником Г. Н. Кирилловым 30.12.2009 № 2-4-60-14-1 (далее – Методические рекомендации).

Методологический подход к определению необходимого количества и мест дислокации пожарно-спасательных частей в Методике НИИ «Респиратор» и в Методических рекомендациях базируется на проведении исследований по выявлению границ городских населенных пунктов и сельских районов, в пределах которых время прибытия первого подразделения пожарной охраны соответствует нормативному.

Методическими рекомендациями предполагается, что состояние дорожного покрытия на момент проведения исследований неизменно и есть возможность для неоднократных замеров скорости движения пожарной техники для каждой дороги. В условиях военного конфликта проведение многократных замеров нецелесообразно из-за угрозы обстрелов. Методика НИИ «Респиратор» основана на использовании нормативного усредненного показателя средней скорости движения пожарной техники к месту вызова.

Методические рекомендации предусматривают определение области нормативного обслуживания для каждой действующей пожарной части на основании расчетов граничной скорости движения пожарной техники для каждой дороги от пожарного депо к каждому объекту защиты, расположенному в зоне ответственности, с целью определения расстояния, которое проедет пожарная техника за нормативное время.

Структурная модель процесса области нормативного обслуживания пожарных частей по Методическим рекомендациям приведена на рисунке 1.

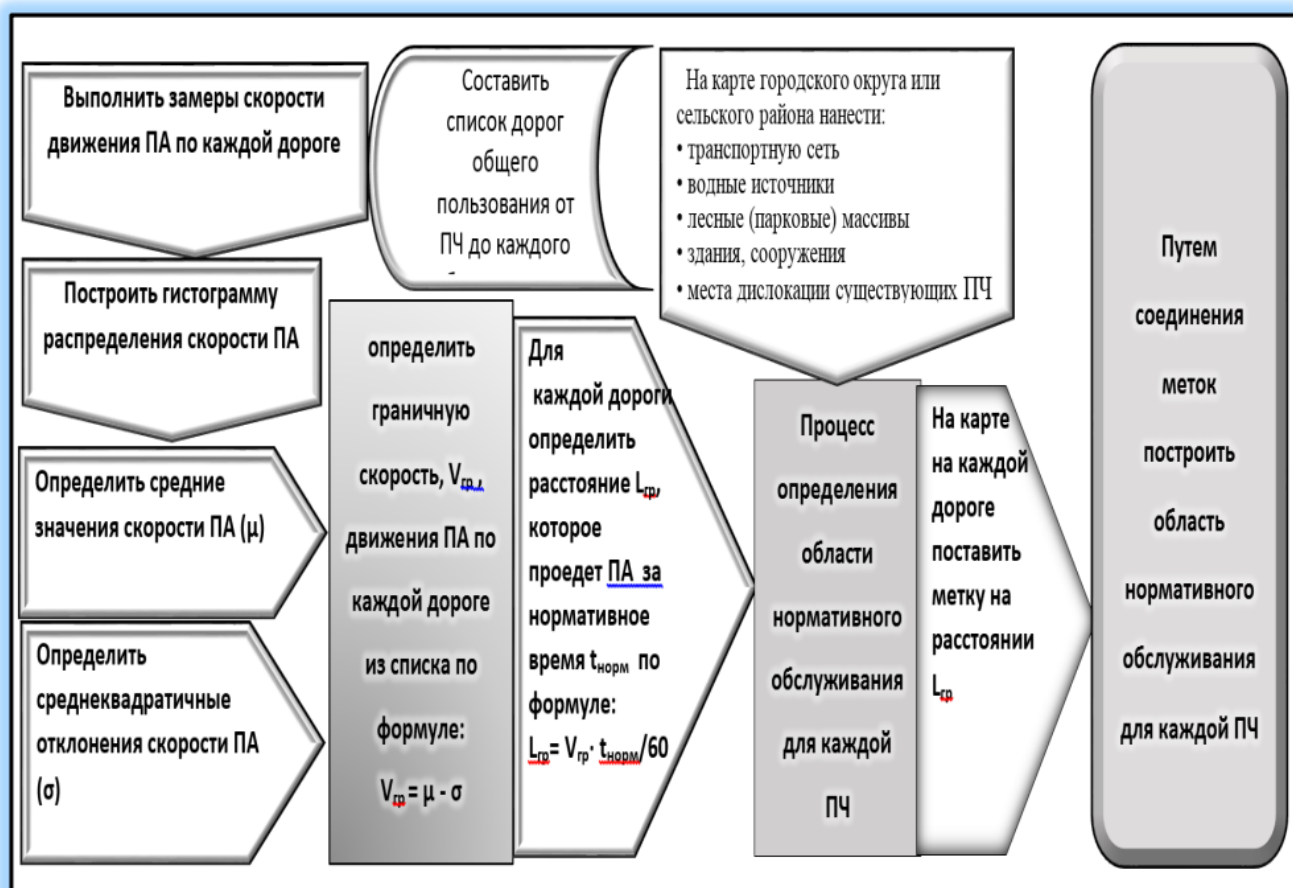


Рис. 1. Структурная модель построения области нормативного обслуживания пожарных частей по Методическим рекомендациям

Методика СП – базовая для определения количества пожарных частей и выбора для мест их расположения. В Методологических рекомендациях подход основан на исследованиях возможных схем развития пожара для каждого объекта защиты и времени, необходимого для его ликвидации. В соответствии с Методологическими рекомендациями для определения необходимого числа и мест дислокации подразделений пожарной охраны на территории населенного пункта или производственного объекта необходимо определить максимально допустимое расстояние от каждого предполагаемого объекта защиты до ближайшего пожарного депо L_i в зависимости от выбранной и согласованной с органами исполнительной власти или собственником цели выезда. Порядок выбора цели выезда в зависимости от места возникновения пожара и условия эвакуации людей приведены в таблице 2.

Для расчета L_i необходимо собрать и проанализировать данные о каждом объекте защиты на исследуемой территории, в том числе:

- о степени огнестойкости зданий, категории производства по пожарной опасности, наличии и количестве горючих веществ и материалов;

• о местонахождении наиболее пожароопасного помещения на объекте защиты и наиболее пожароопасном виде горючего вещества и материала (по минимальному значению времени эвакуации $\tau_{\text{нб}} = \min$). Для сооружений необходимо определить наибольшую площадь возможного пожара $S_{\text{пож}}$.

Таблица 2

Порядок выбора цели выезда в зависимости от места возникновения пожара и условия эвакуации людей

№ цели	Формулировка цели выезда – ликвидация пожара прежде, чем	Выбор цели выезда в зависимости от места возникновения пожара и условий эвакуации людей		
		При условии, что пожар возник: • на открытом пространстве; • вне зданий и сооружений	При условии, что пожар возник внутри зданий и сооружений	
			Нет дополнительных условий	При условии, что эвакуация людей из помещения пожара: • невозможна без причинения вреда их жизни; • нецелесообразна по условиям технологического процесса
1	Площадь пожара $S_{\text{пож}}$ станет больше площади, которую может потушить один дежурный караул	+	+	+
2	Наступит предел огнестойкости строительных конструкций в помещении, охваченном пожаром		+	+
3	Опасные факторы пожара достигнут критических для жизни людей значений			+

Порядок расчета L_i в зависимости от цели выезда подразделений пожарной охраны на пожар, вида горючих материалов и выбранной схемы развития пожара приведен в таблице 3.

Таблица 3

Формулы расчета L_i в зависимости от цели выезда подразделений пожарной охраны на пожар и выбранной схемы развития пожара

Вид горючих материалов и форма поверхности горения:	Формулы расчета L_i в зависимости от цели выезда подразделений пожарной охраны на пожар и схемы развития пожара, выбранной в зависимости от вида горючих материалов и формы горения		
	цель № 1	цель № 2	цель № 3
• твердые вещества и материалы • на площади в виде круга	$l_1 \leq \frac{Q_{\text{св}}}{60} (T_2 - T_1)$	$l_2 \leq \begin{cases} \frac{Q_{\text{св}}}{60} \left[\sqrt{T_1 \left(\tau_{\text{м}} + \frac{T_1}{4} - T_0 \right)} - \left(T_1 + \frac{T_1}{2} \right) \right], \text{ если } S_{\text{м}}/S_{\text{м}} < 1 \\ \frac{Q_{\text{св}}}{60} [\tau_{\text{м}} - (T_1 + T_1)], \text{ если } S_{\text{м}}/S_{\text{м}} \geq 1 \end{cases}$	$l_3 \leq \frac{Q_{\text{св}}}{60} \left[\sqrt{T_3 \left(\tau_{\text{м}} + \frac{T_3}{4} - T_0 \right)} - \left(T_1 + \frac{T_3}{2} \right) \right]$
• твердые вещества и материалы • на площади в виде полосы постоянной ширины	$l_1 \leq \frac{Q_{\text{св}}}{60} (T_4 - T_1)$	$l_2 \leq \begin{cases} \frac{Q_{\text{св}}}{60A} [\tau_{\text{по}} - (T_0 + T_1A)], \text{ если } S_{\text{пож}}/S_{\text{пол}} < 1, \\ \frac{Q_{\text{св}}}{60} [\tau_{\text{по}} - (T_0 + T_1 + T_8)], \text{ если } S_{\text{пож}}/S_{\text{пол}} \geq 1, \end{cases}$	$l_3 \leq \begin{cases} \frac{Q_{\text{св}}}{60A} [\tau_{\text{м}} - (T_0 + T_1A)], \text{ если } S_{\text{пож}}/S_{\text{пол}} < 1, \\ \frac{Q_{\text{св}}}{60} [\tau_{\text{м}} - (T_0 + T_1 + T_8)], \text{ если } S_{\text{пож}}/S_{\text{пол}} \geq 1, \end{cases}$
• ЛВЖ и ГЖ, расплавы твердых горючих материалов; • свободно растекающиеся	$l_1 \leq \frac{Q_{\text{св}}}{60} (T_5 - T_1)$	$l_2 \leq \frac{Q_{\text{св}}}{216a} \left\{ -B + \sqrt{B^2 + 7,2a [KT_1 + \tau_{\text{м}} - (T_0 + T_1)]} \right\}$	$l_3 \leq \frac{Q_{\text{св}}}{216a} \left\{ -\Pi + \sqrt{\Pi^2 + 7,2a [PT_1 + \tau_{\text{м}} - (T_0 + T_1)]} \right\}$
• ЛВЖ и ГЖ, расплавы твердых горючих материалов • на постоянной площади (в обваловании)		$l_2 \leq \frac{Q_{\text{св}}}{60} [\tau_{\text{по}} - (T_0 + T_1 + T_7)]$	$l_3 \leq \frac{Q_{\text{св}}}{60} [\tau_{\text{м}} - (T_0 + T_1 + T_7)]$

Как следует из таблицы 3, для расчета L_i для достижения:

- цели № 1 (обеспечить ликвидацию пожара до того момента, когда площадь пожара $S_{\text{пож}}$ станет больше площади, которую может потушить один дежурный караул) определяют время прибытия пожарного автомобиля как разницу времени, необходимого для ликвидации пожара в зависимости от вида горючего материала и формы горения (T_2 , T_3 или T_4), и времени T_1 , определяемого суммой времени на обнаружение пожара, сообщение о пожаре, сбор личного состава и времени от прибытия до подачи ствола;

- цели № 2 (обеспечить ликвидацию пожара до того момента, когда наступит предел огнестойкости строительных конструкций в помещении, где произошел пожар) в зависимости от соотношения площади пожара к площади помещения определяют время прибытия пожарного автомобиля с учетом разницы времени от момента возникновения пожара до момента наступления предела огнестойкости строительной конструкции $\tau_{\text{по}}$ и времени, необходимого для ликвидации пожара в зависимости от требуемой интенсивности подачи огнетушащего вещества при тушении пожара $J_{\text{тр}}$, времени T_1 , T_3 и т.д.

Как следует из анализа Методических рекомендаций и расчета по формулам из таблицы 3, максимально допустимое расстояние от объекта до ближайшей пожарной части L_i определяется зависимостью

$$L_i = f(T_i, \vartheta_{\text{сл}}) + \xi_{\text{м}}, \quad (1)$$

где $\vartheta_{\text{сл}}$ – скорость следования пожарной техники, км/ч;

T_i – время, необходимое для достижения i -й цели выезда караула на пожар, мин;

$\xi_{\text{м}}$ – случайная компонента, учитывающая влияние неучтенных факторов в мирное время.

Однако данная зависимость не учитывает влияния последствий внешнего воздействия на работу системы пожарной безопасности в ходе выполнения поставленных задач в условиях военного конфликта. Следовательно, для моделирования изучаемого процесса следует добавить случайную компоненту, учитывающую влияние неучтенных факторов в военное время, $\xi_{\text{в}}$. В этом случае зависимость можно представить в следующем виде:

$$L_i = f(T_i, \vartheta_{\text{сл}}) + \xi_{\text{м}} + \xi_{\text{в}}. \quad (2)$$

Согласно Методике СП места целесообразного размещения пожарных депо определяют графическим путем или методом компьютерного моделирования. Блок-схема определения числа и мест дислокации подразделений пожарной охраны графическим методом приведена на рисунке 2.

Автор исследования разделяет мнение, изложенное в публикациях [1 – 5], о проблемных моментах (даже в мирное время) методологического подхода к определению количества и мест расположения пожарных подразделений по Методике СП, которые усугубляются в условиях военного конфликта, а именно:

- трудоемкие расчеты на базе исходных данных, требующие постоянной корректировки;
- результаты расчетов должны базироваться на данных о всех объектах защиты, расположенных на исследуемой территории. Следовательно, при строительстве новых или сносе старых объектов, а также в случае их перепрофилирования потребуется корректировка полученных ранее результатов. В условиях военного конфликта имеется угроза разрушения объектов защиты в результате обстрелов, наблюдается перепрофилирование объектов вследствие воздействия угроз и быстро меняющейся обстановки, сбор данных о размещении горючих веществ и материалов невозможен по объективным причинам;

- итоговые результаты расчетов по Методике СП требуют строительства очень большого количества пожарных частей.

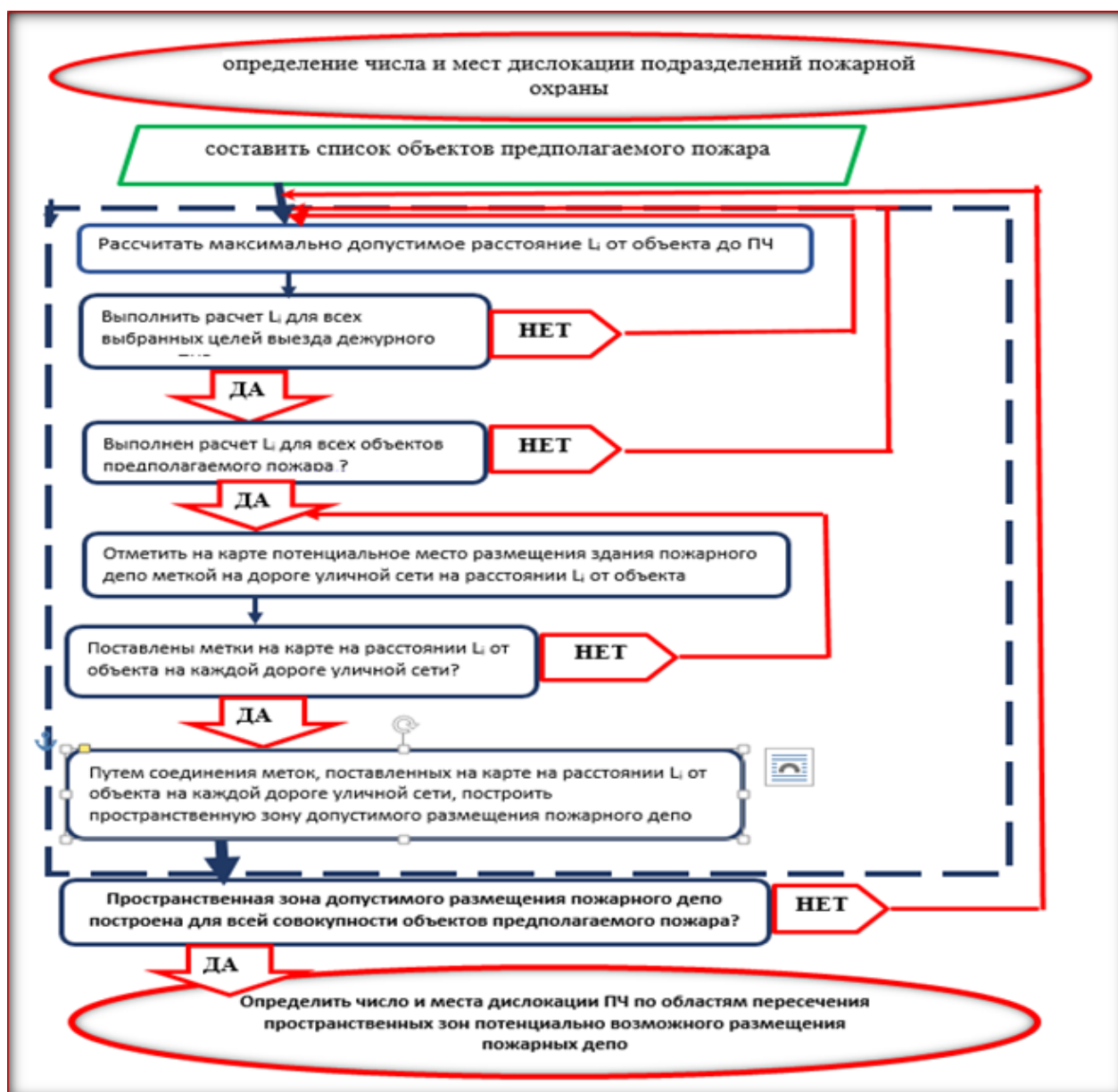


Рис. 2. Блок-схема определения числа и мест дислокации подразделений пожарной охраны графическим методом по Методике СП

Автор статьи считает, что на территории Донецкой Народной Республики применение этих методик затруднительно, так как:

- в условиях постоянно меняющейся ситуации невозможно собрать на каждом объекте защиты значительный объем достоверной информации о характеристиках пожарной нагрузки (вид, места размещения и количество), пределах огнестойкости конструкций, количестве и местах размещения людей в помещениях, категории взрывоопасности и пожарной опасности складских и производственных помещений и т.д., необходимый для выполнения расчетов;

- в условиях военного конфликта, учитывая внешнее воздействие на работу системы обеспечения пожарной безопасности, необходима высокая скорость принятия оперативных решений. Например, следствием обстрелов становятся проблемы с логистикой маршрутов движения пожарной техники, нестабильностью скорости ее движения, ситуационными изменениями качества дорожного покрытия, разрушениями жилых, общественных, промышленных зданий (сооружений) и т.д. Проведение многократных замеров скорости по каждой дороге от пожарного депо до каждого объекта защиты на исследуемой территории невозможно из-за угроз, создаваемых последствиями военного конфликта, и длительностью процедуры замеров.

В ходе проведенного ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России исследования специфики управления системой МЧС России по ДНР в условиях непрекращающихся многолетних обстрелов были оценены факторы влияния на скорость движения пожарной техники к месту вызова. В качестве главных проблем были выделены необходимость проведения дополнительных незапланированных маневров при обстрелах и невозможность учета характеристик состояния дорожного покрытия из-за непредсказуемых повреждений дорожного полотна. Данные обстоятельства существенно влияют на методологию решения задачи по обоснованию необходимого количества пожарно-спасательных подразделений из-за существенной неравномерности скорости движения пожарной техники.

Анализ приведенных фактов подтвердил необходимость введения норматива средней скорости движения пожарной техники для городских населенных пунктов и населенных пунктов сельской местности Донецкой Народной Республики в условиях военного конфликта. Эти показатели были рассчитаны ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» на основании математико-статистической обработки сведений о выездах пожарно-спасательных подразделений на ликвидацию пожаров за период 2014–2018 гг. в города и районы Донецкой Народной Республики. Результаты исследований легли в основу Методики НИИ «Респиратор». Согласно ей средняя скорость движения пожарного автомобиля применяется для определения максимально допустимого расстояния от места дислокации пожарного подразделения до границ района его обслуживания (при условии соблюдения нормируемого времени прибытия первого подразделения к месту вызова), зон ответственности пожарно-спасательных подразделений, участков территории с отрицательной оценкой соответствия нормативным показателям времени прибытия пожарно-спасательных подразделений, предполагаемых мест размещения пожарно-спасательных подразделений.

Выводы. Анализ рассмотренных методик позволил предположить, что в условиях многолетнего военного конфликта нецелесообразно в качестве

базового показателя для обоснования мест дислокации и количества пожарно-спасательных подразделений определять граничную скорость движения пожарного автомобиля путем многократных замеров скорости движения пожарной техники для каждой автомобильной дороги, так как в условиях военного конфликта:

- отсутствует возможность пролонгированной оценки состояния дорожного полотна;
- наблюдается непредсказуемость развития оперативной обстановки, что не позволяет проводить исследования на базе натурных замеров скорости движения техники;
- организация обеспечения системы пожарной безопасности в целом определяется с учетом статистических закономерностей совокупности случайных процессов возникновения пожаров и последствий военных действий в виде обстрелов.

Следовательно, методология по обоснованию количества и мест расположения пожарных частей Российской Федерации неприменима в условиях военного конфликта. Целесообразна дальнейшая разработка методологии по обоснованию необходимого количества пожарно-спасательных подразделений и определению их ресурсной потребности с учетом условий воздействия внешних факторов на систему пожарной безопасности и наработанной за период военного конфликта специфики деятельности МЧС России по ДНР на базе Методики НИИ «Респиратор».

Список литературы / References

1. Матюшин, А. В. Анализ оперативно-тактических возможностей гарнизона пожарной охраны г. Ханоя (Республика Вьетнам) / А. В. Матюшин, Ю. А. Матюшин, Нго Куанг Тоан // Пожарная безопасность. – 2016. – № 1. – С. 89 – 96. URL: https://firesafety-vniipo.ru/annotatsii/2016-5/2016-1_str-89-96/ (дата обращения: 16.07.2023).

Matyushin, A. V., Matyushin, Yu. A., Ngo Kuang Toan. *Analiz operativno-takticheskikh vozmozhnostey garnizona pozharnoy okhrany g. Khanoya (Respublika Vyetnam)* [Analysis of operation and tactical capacities of Hanoi city fire service garrison (Vietnam Republic)]. *Pozharnaya bezopasnost*, 2016, no. 1, pp. 89-96. Available at: https://firesafety-vniipo.ru/annotatsii/2016-5/2016-1_str-89-96/ (accessed 16.07.2023). (In Russian)

2. Таранцев, А. А. О проблеме размещения вновь создаваемых пожарных частей на территории регионов / А. А. Таранцев // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 23, № 5. – С. 52 – 56.

Tarantsev, A. A. *O probleme razmeshcheniya vnov sozdavayemykh pozharnykh chastey na territorii regionov* [On the problem of newly created fire garrisons deployment on the territory of regions]. *Pozharovzryvbezopasnost*, 2013, vol. 23, no. 5, pp. 52-56. (In Russian)

3. Матюшин, А. В. Определение скорости следования пожарных подразделений к месту вызова в городе / А. В. Матюшин, Нго Куанг Тоан // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 3(61). URL: <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения: 20.07.2023).

Matyushin, A. A., Ngo Kuang Toan. *Opredelenie skorosti sledovaniya pozharnykh podrazdeleniy k mestu vyzova v gorode* [Determination of fire units speed to incident call location in a city]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2015, no. 3(61). Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb> (accessed 20.07.2023). (In Russian)

4. Порошин, А. А. Определение мест дислокации подразделений пожарной охраны для защиты от пожаров социально значимых объектов / А. А. Порошин // Технологии техносферной безопасности. – 2022. – № 4(98). – С. 68 – 78. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения: 20.09.2023).

Poroshin, A. A. *Opredelenie mest dislokatsii podrazdeleniy pozharnoy okhrany dlya zashchity ot pozharov sotsialno znachimykh obyektov* [Determination of fire service garrisons deployment for protection of socially critical facilities]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti* – 2022, no. 4(98), pp. 68-78. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb> (accessed 20.09.2023). (In Russian)

5. Simulation model for decision support of locating fire and rescue units in Saint-Petersburg // *Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia*. – 2023. – № 3. – Pp. 152 – 163. (In English)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 05.12.2023

*Yelena Ivanovna Dobryakova, scientific associate; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru
Federal State Institution "The Scientific Research Institute "Respirator" EMERCOM of Russia"
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-44*

SUBSTANTIATION OF METHODOLOGICAL APPROACHES TO DETERMINATION OF REQUIRED NUMBER OF FIRE AND RESCUE UNITS IN CONDITIONS OF WAR CONFLICT

Objective. To substantiate the methodological approaches to determination of the required number of the fire and rescue garrisons of EMERCOM of Russia DPR branch in conditions of war conflict in order to improve the effectiveness of their work.

Methods. Analytical investigations of the methodological approaches to determination of number and deployment sites of the fire and rescue units and critical analysis of their possible engagement within the territory of the Donetsk People's Republic.

Results. The current calculation models of the required number of the fire and rescue units employed in the peacetime were reviewed in order to substantiate the methodological specifics of the required number of the fire and rescue units in conditions of war conflict, and the evaluation of their possible engagement in the conditions of the war conflict was conducted.

Scientific novelty. The novel requirements for calculation of the required number of the fire and rescue units in the Donetsk People's Republic in conditions of the war conflict were developed; it will facilitate the improvement of their effectiveness.

Practical value. The creation of the required regulatory basis for management decision making regarding the organization of EMERCOM of Russia service in the Donetsk People's Republic applying the results of graphic assessment of target areas of the fire and rescue garrisons.

Keywords: *fire; arrival time; fire and rescue garrison; motion speed; fire truck; formation criteria.*

Citation: Dobryakova Ye. I. Obosnovanie metodologicheskikh podkhodov k opredeleniyu neobkhodimogo kolichestva pozharo-spasatelnykh podrazdeleniy v usloviyakh voennogo konflikta [Substantiation of methodological approaches to determination of required number of fire and rescue units in conditions of war conflict]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2023, no. 4(60), pp. 82-94. EDN ZMFWVA.

**Указатель статей, опубликованных в журнале
«Научный вестник НИИ «Респиратор»» за 2023 год**

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	Вып.	Стр.
Агеев В. Г., Пефтибай Г. И., Галухин Н. А. Методы нечеткой математики для обоснования номенклатуры средств забора воды	2	7
Агеев В. Г., Пефтибай Г. И., Галухин Н. А., Марийчук И. Ф. Метод определения напряженно-деформированного состояния взрывоустойчивой перемычки под действием динамической нагрузки	3	7
Греков С. П. Влияние концентрации кислорода на кинетику хемосорбции газонасыщенных углей	1	7
Греков С. П., Головченко Е. А. Динамика адсорбции кислорода углем в зонах геологических нарушений и температура его самонагревания	2	33
Долженков А. Ф., Старикова И. Г., Агарков Ал. В. Исследование процесса массопереноса в горной выработке шахты при экзогенном пожаре	4	17
Калякин С. А., Головченко Е. А., Белокобыльский М. А. Зависимость температуры воспламенения угольной пыли от выхода летучих веществ	1	35
Коляда А. Ю., Дикенштейн И. Ф. Влияние направленности движения капель в водяной завесе на эффективность локализации подземных пожаров	2	41
Коляда А. Ю., Дикенштейн И. Ф., Буряк Д. С. Оценка устойчивости проветривания при локализации подземных пожаров в горных выработках	3	31
Лабинский К. Н., Головченко Е. А., Мамаев В. В., Калякин С. А. Зависимость температуры самовоспламенения угольного аэрозоля от химической активности поверхности пыли	4	7
Лебедева В. В., Старикова И. Г., Непочатых И. Н., Храпоненко О. В. Композиционный материал для нейтрализации аварийных проливов химически опасных веществ	4	28
Мамаев В. В., Симонов А. М., Агарков Ал. В. Прогнозирование и ликвидация слоевых скоплений метана в угольных шахтах	2	20
Симонов А. М., Карнаух Н. В., Агарков Ал. В. Системы разработки и схемы проветривания выемочных участков при отработке выбросоопасных пластов	1	13
Симонов А. М., Мавроди А. В., Агарков Ал. В. Переходные газодинамические процессы в изолированном пожарном участке шахты	3	19
Старикова И. Г. Метод определения времени самонагревания угольного пласта	1	25

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА	Вып.	Стр.
Агеев В. Г., Пефтибай Г. И., Галухин Н. А., Ивахненко А. В. Модальный метод определения весовых коэффициентов в нечеткой задаче принятия решений	3	40
Бершадский И. А., Савинов Н. А., Гладков А. Ю., Ковалев А. П. Обоснование параметров температурной защиты клеммного соединения сетевого фильтра	2	87
Головченко Е. А., Момот Д. И., Карасёва В. В. Апробация метода идентификации видов сгорающих веществ при подземных пожарах	1	98
Головченко Е. А., Пашковский О. П., Гусар Г. А. Определение критической мощности скопления угольной пыли	4	36
Гуржий В. В., Березин А. А. Влияние сверхтока на возникновение больших переходных сопротивлений в контактных соединениях электроустановок	2	110
Долженков А. Ф., Мороз Т. О. Анализ расчета рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы	2	103
Иваненко А. Ф., Мухин П. Е. Оценка экологического риска при ликвидации и консервации угольных шахт ДНР	1	106
Иваненко А. Ф., Мухин П. Е. Модель оценки экологического риска при ликвидации и консервации угольных шахт	3	58
Кириян А. П., Серёгин А. Б. Теплообменные и гидравлические процессы в противотепловой одежде с системой охлаждения рук и ног спасателя	2	95
Лебедева В. В. Количественные параметры вспучивания огнезащитного покрытия на основе хлоропренового каучука	1	90
Лебедева В. В., Щербакова О. Н., Сиверский А. В. Параметры оптимизации условий идентификации нефтепродуктов	3	50
Мамаев В. В., Плетенецкий Р. С., Зборщик Л. А., Францев В. И. Исследование процессов регенерации в дыхательном аппарате с комбинированной системой сорбции диоксида углерода	4	44
Пефтибай Г. И., Галухин Н. А., Ивахненко А. В. Обоснование выбора номенклатуры средств механизации горноспасательных работ на примере средств забора воды	1	79
Симонов А. М., Мавроди А. В., Ивахненко А. В. Ведение аварийно-спасательных работ в горных выработках шахт, не имеющих запасного выхода	4	56

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ	Вып.	Стр.
Агеев В. Г., Греков С. П., Головченко Е. А. Определение температуры самовозгорания угольных скоплений в шахтах	2	50
Добрякова Е. И. Обоснование методологических подходов к определению необходимого количества пожарно-спасательных подразделений в условиях военного конфликта	4	82
Добрякова Е. И., Булатников А. А. Обоснование необходимого количества пожарно-спасательных подразделений	1	70
Ехилевский С. Г., Голубева О. В., Забелендик О. Н. Критерий прироста защитного действия изолирующего респиратора с неоднородно снаряженным регенеративным патроном	3	69
Канин В. А., Пивень Ю. А. О необходимости учета выделения в шахтах горючих газов при механохимической деструкции угля	4	64
Ковалев А. П., Колесник Л. И. Расчет надежности и пожаробезопасности сложных по структуре восстанавливаемых в процессе эксплуатации систем	1	43
Козлитин А. А., Лебедева В. В., Щербакова О. Н. Методика обнаружения и идентификации нефтепродуктов	2	58
Мамаев В. В., Зборщик Л. А., Плетенецкий Р. С., Францев В. И. Современные требования к пунктам переключения в резервные шахтные самоспасатели	1	55
Медгаус В. М., Зборщик Л. А., Плетенецкий Р. С., Францев В. И. Пусковое устройство дыхательного аппарата с химически связанным кислородом	3	80
Медгаус В. М., Лирик Ю. И. Усовершенствование системы управления микроклиматом стенда Тепловая камера ТК-50	4	74
Медгаус В. М., Плетенецкий Р. С., Зборщик Л. А., Францев В. И. Исследование параметров шахтного самоспасателя ШСС-1П	2	76
Медгаус В. М., Попов Н. Н. Разработка требований к конструкции устройства для создания вакуума в средствах иммобилизации пострадавших	3	90
Мороз О. К., Мороз Т. О. Исследование механизма разрушения горных пород невзрывчатыми разрушающими составами как средства повышения безопасности подземных горных работ	2	66
Черкесов В. В. Профессиональный риск спасателя МЧС. Роль медико-психологических факторов готовности и адаптации к риску	1	63

Монографии ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»

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 самонагревания угля и других органических материалов, методы профилактики эндогенных пожаров. Проведен анализ существующих методов и математических моделей определения самовозгорания материалов органического происхождения. Разработаны математические модели самонагревания 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



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.



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.



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.



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.

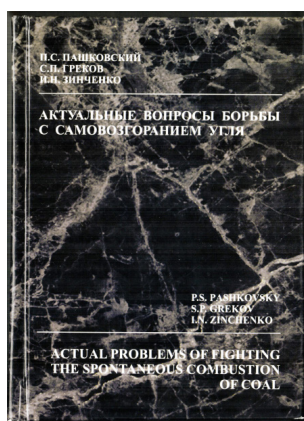
Монография предназначена для специалистов, занимающихся вопросами предупреждения и тушения эндогенных пожаров, преподавателей, аспирантов и студентов горных вузов.



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.



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

Изложены основы теории самовозгорания углей. Рассмотрены математические модели адсорбции газов зёрнами адсорбента, которая приводит к выделению теплоты. Исследованы факторы, влияющие на самонагревание углей, способы предотвращения самонагревания. Приведены математические модели инертизации атмосферы и предотвращения самонагревания. Даны расчеты группирования шахтопластов по эндогенным пожарам. Изучено влияние геологических нарушений на пожароопасность. Приведены методики расчета склонности углей к самовозгоранию и инкубационного периода.

Настоящее издание – первый источник, объединяющий исследования ученых Украины за 20-летний период по проблемам эндогенных пожаров в шахтах. Предназначено для специалистов, занимающихся вопросами самовозгорания углей, работников шахт, аспирантов и 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. Подрисовочные 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»

2023, № 4(60)

На русском и английском языках

Ответственный редактор Л. В. Барзий

Технический редактор Н. Н. Грибенюк

Переводчик Л. А. Ахундова

Учредитель и издатель

*Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»*

Поступившие на издание авторские рукописи проходят рецензирование

**Авторы опубликованных материалов несут ответственность
за использование сведений, не подлежащих открытой публикации**

Подписано к выходу в свет 18.12.2023.

Адрес редакции и издателя: ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»,
ул. Артема, 157, Донецк, 283048

Телефоны: +7 (856) 332-78-01; 332-78-60

Объем 4,3 Мб

E-mail: respirator@80mchs.gov.ru

URL: <http://respirator.dnmchs.ru>

Дата размещения на сайте 20 декабря 2023 г.