



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»

№ 1(61)

Выходит 4 раза в год

Основан в 1970 г.

Донецк
2024

Научный вестник НИИ «Респиратор». – Донецк, 2024. – № 1(61). – 136 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	<u>С. Е. Гулько</u>
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 № 1 от 29.02.2024).

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. 1(61)

Published quarterly

Founded in 1970

Scientific bulletin of the NII "Respirator". – Donetsk, 2024. – No. 1(61). – 136 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.)	<u>S. Ye. Gulko</u>
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. 1 from 29.02.2024).

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***

- Агеев В. Г., Пештибай Г. И.,
Галухин Н. А., Медгаус В. М.**
Комплексная оценка эффективности
переносных устройств пожаротушения
тонкораспыленной водой 7

- Лебедева В. В., Храпоненко О. В.,
Щербакова О. Н.**
Хроматографический метод
определения остатков
многокомпонентных растворителей
в пробах после пожаров 17

- Ковалев А. П., Бершадский И. А.,
Мых А. Д., Згарбул А. В.**
Оценка рисков возникновения
пожаров при эксплуатации
электрифицированных помещений 29

- Агарков Ал. В.**
Исследование теплообменных
процессов в горных выработках шахт
при пожарах 38

II. Безопасность труда

- Головченко Е. А., Гусар Г. А.**
Энергия активации процесса окисления
наночастиц угольной пыли 48

- Симонов А. М., Мавроди А. В.,
Ивахненко А. В.**
Проветривание горных выработок
при аварийных отключениях систем
дегазации 56

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

- Ageyev V. G., Peftibay G. I.,
Galukhin N. A., Medgaus V. M.**
Integrated assessment of portable
fire-extinguishing water spray devices
efficiency 7

- Lebedeva V. V., Khraponenko O. V.,
Shcherbakova O. N.**
Chromatographic technique for
identification of multicomponent solvents
residues in samples collected after fire
incidents 17

- Kovalyov A. P., Bershadskiy I. A.,
Mykh A. D., Zgarbul A. V.**
Risk assessment of fire occurrence during
exploitation of electrified premises 29

- Agarkov Al. V.**
Study on heat transfer processes in mine
workings in case of spontaneous fires 38

II. Occupational safety

- Golovchenko Ye. A., Gusar G. A.**
Activation energy of coal dust
nanoparticles oxidation process 48

- Simonov A. M., Mavrodi A. V.,
Ivakhnenko A. V.**
Mine workings ventilation in conditions of
emergency gas drainage systems shutdown 56

Балов С. В., Трунов Л. Ф.

Исследование условий ведения
горных работ на концевых участках лав
для снижения трудоемкости

65

Balov S. V., Trunov L. F.

Studies on mining works conditions in face
ends for labour consumption reduction

**Капран Л. Н., Сытник А. А.,
Киринов В. Н., Федористова А. А.**

Обоснование параметров
искусственных сооружений из
альтернативных материалов
для охраны горных выработок

74

**Kapran L. N., Sytnik A. A.,
Kirin V. N., Fedoristova A. A.**

Substantiation of parameters for
engineering structures made of alternative
materials for mine workings support

III. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

III. Safety in emergency situations

**Долженков А. Ф., Мороз Т. О.,
Джалетова Е. К.**

Методы оценки физиологического
и психологического состояния
спасателей в экстремальных условиях

86

**Dolzhenkov A. F., Moroz T. O.,
Dzhaletova Ye. K.**

Methods for evaluation of physiological
and psychological state of rescuers
in extreme conditions

**Лебедева В. В., Непочатых И. Н.,
Храпоненко О. В.**

Экспериментальная оценка влияния
сульфатсодержащих соединений
на снижение горючести древесины

96

**Lebedeva V. V., Nepochatykh I. N.,
Khraponenko O. V.**

Experimental assessment of sulfate-
containing compounds effect on reduction
of wood flammability

Добрякова Е. И.

Исследование закономерностей работы
подразделений МЧС в условиях
военного конфликта

106

Dobryakova Ye. I.

Study of operation regularities
of EMERCOM divisions in conditions
of war conflict

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

Анализ технических характеристик
учебных самоспасателей и методик
обучения с их применением

118

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

Analysis of technical characteristics
of training self-rescuers and teaching
techniques incorporated them

I. Пожарная безопасность

УДК [614.845.2:62-182.4]:001.891.3

Владимир Григорьевич Агеев, д-р техн. наук, начальник; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;

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

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

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

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-36

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕНОСНЫХ УСТРОЙСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Цель. Разработать методы комплексной оценки эффективности устройства пожаротушения тонкораспыленной водой.

Методы. Применение системного подхода к оценке эффективности пожаротушения устройства, декомпозиция на подсистемы, нахождение частных показателей эффективности методом анализа размерностей и использования π -теоремы, синтез комплексного показателя на основе найденных частных показателей эффективности.

Результаты. Получен показатель комплексной оценки эффективности с учетом пожаротушающих свойств тонкораспыленной воды, конструктивно-технических параметров и стоимостных характеристик устройства.

Научная новизна. Разработан показатель комплексной оценки эффективности устройства пожаротушения тонкораспыленной водой, отличающийся от известных тем, что включает предложенный частный показатель эффективности тушения тонкораспыленной водой.

Практическая значимость. Метод комплексной оценки эффективности устройства пожаротушения тонкораспыленной водой может быть рекомендован для оценивания и сравнения переносных устройств пожаротушения.

Ключевые слова: эффективность; пожаротушение; тонкораспыленная вода; анализ размерностей; π -теорема.

Для цитирования: Агеев В. Г., Пефтибай Г. И., Галухин Н. А., Медгаус В. М. Комплексная оценка эффективности переносных устройств пожаротушения тонкораспыленной водой // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 1(61). – С. 7–16. EDN FRZAPU.

Постановка проблемы. Сравнение различных устройств первичного тушения пожаров, включая огнетушители и переносные устройства пожаротушения тонкораспыленной водой, – сложная задача для численной оценки эффективности пожаротушающей установки. Эффективность пожаротушения характеризуется техническими и экономическими параметрами, имеющими неодинаковые физические единицы измерения. Для численного сравнения эффективности различных устройств пожаротушения необходимо преобразовать множество частных технических и экономических показателей в единый комплексный показатель. Ценность такого комплексного показателя существенно возрастает, если рассматривать его не только как оценку эффективности пожаротушения, но и как целевую функцию для оптимизационной задачи нахождения оптимальных технических характеристик на этапе проектирования средств пожаротушения.

Анализ последних исследований. В работе [1] предложен интегральный показатель качества огнетушителя $I_{(t)}$ в виде

$$I_{(t)} = \frac{EP_{(t)}n}{C_{\text{опт}}\varphi_{(t)} + C_3}, \quad (1)$$

где E – огнетушащая способность, м^2 ;

$P_{(t)}$ – вероятность безотказной работы;

n – количество огнетушителей, используемых в течение года, шт.;

$C_{\text{опт}}$ – оптовая цена огнетушителя, руб.;

$\varphi_{(t)}$ – поправочный коэффициент;

C_3 – эксплуатационные затраты, руб.

На основе выражения (1) предложены целевые функции, названные автором «алгоритмом оптимизации параметров» порошковых и углекислотных огнетушителей. Оптимизационные переменные алгоритмов оптимизации параметров: масса огнетушащего вещества, продолжительность подачи огнетушащего вещества, длина струи, диаметр корпуса огнетушителя, масса огнетушителя без огнетушащего вещества. В работе [2] отмечается, что показатель $I_{(t)}$ отражает площадь потушенного пожара, приходящуюся на один рубль затрат. Кроме того, этот показатель не учитывает ряд существенных параметров эффективности средств пожаротушения тонкораспыленной водой, например диаметр капель, полный импульс капельной струи и др.

В работе [3] предложен безразмерный комплексный показатель уровня эффективности порошкового огнетушителя в виде отношения энергии, затраченной на разгон и доставку огнетушащего вещества, к полной энергии сжатого газа.

В исследованиях, проведенных в работе [4], методом анализа размерностей получены два комплексных показателя, отражающие конструктивную особенность огнетушителя и теплотехническую сущность пожаротушения. С помощью умножения указанных комплексов получен рейтинговый показатель эффективности огнетушителя. Комплексная оценка эффективности получена с учетом экономической составляющей – цены огнетушителя. В работе использован метод Парето для сравнения эффективности огнетушителей по рейтинговому показателю и цене. Методика разработана применительно к порошковым огнетушителям. В работе [5] проведены исследования по повышению уровня достоверности оценки эффективности огнетушителей, получен безразмерный комплекс, связывающий следующие параметры огнетушителя: расход огнетушащего вещества, давление, длину струи и время истечения огнетушащего вещества. С помощью предложенного безразмерного комплекса автор экспериментальным путем подтвердил его эффективность при сравнении двух порошковых огнетушителей на экспериментальном стенде.

В исследованиях, проведенных в работе [6], предлагается для адекватной оценки эффективности пожаротушения огнетушителем комбинированного типа использовать понятие «вероятность гарантированного тушения сложных пожаров» (классов А + В, В + С и др.). Однако при разработке новых конструкций огнетушителей необходимо провести множество испытаний для получения оценки вероятности гарантированного тушения пожара. Кроме того, использование предложенного критерия не раскрывает влияния отдельных параметров (технических, конструктивных, теплотехнических, экономических) на эффективность огнетушителя.

Результаты исследований. Стандартным подходом к оценке эффективности огнетушителей согласно ГОСТ Р 51057–2001 «Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний» не предусмотрено определения единого показателя эффективности. Стандартом установлен набор отдельных показателей (пожаротушащая способность, продолжительность подачи огнетушащего вещества, длина струи и др.), которым должен удовлетворять огнетушитель. В настоящее время отсутствуют показатели эффективности тушения и нормативные показатели интенсивности подачи огнетушащего вещества для переносных и ранцевых устройств пожаротушения тонкораспыленной водой. Отдельные показатели эффективности принимают аналогично огнетушителям, но особенности влияния тонкораспыленной воды на комплексный показатель эффективности устройств не исследованы.

В основу исследований положен системный подход, основанный на декомпозиции факторов, влияющих на эффективность устройства пожаротушения тонкораспыленной водой, на три составные подсистемы: техническую, пожаротушащую и экономическую. Методикой предусматривается анализ каждой подсистемы и нахождение частных показателей эффективности. Заключительный этап представляет собой синтез комплексного показателя эффективности устройств пожаротушения на основе ранее полученных частных показателей. Математическим аппаратом для установления связи между отдельными показателями и комплексными показателями эффективности может служить метод анализа размерности [7], основанный на π -теореме (теореме Бэкингема). Так как уравнения для получения комплексного показателя неизвестны, то применение данного метода является единственно возможным.

Рассмотрим в качестве пожаротушащей подсистемы специально подготовленное огнетушащее вещество – тонкораспыленную воду. С одной стороны, механизм тушения пожара тонкораспыленной водой существенно отличается прежде всего необходимостью реализации импульсного режима взаимодействия капельной струи с конвективными тепловыми восходящими потоками газа для повышения проникающей способности капель в очаг пожара. С другой стороны, известно, что повышение эффективности тушения достигается за счет повышения дисперсности капель и, как следствие, интенсификации фазовых превращений огнетушащего вещества из жидкого

в газообразное состояние, что вызывает интенсивный отбор тепла (охлаждение) горячей поверхности. Для того чтобы найти зависимость между безразмерным комплексом, характеризующим эффективность устройства для тушения пожара, и параметрами тонкораспыленной воды и пожара, необходимо сформировать номенклатуру основных определяющих параметров на основе знаний физики процессов, логических рассуждений, опыта и интуиции (табл. 1).

Таблица 1

Основные параметры, характеризующие взаимодействие тонкораспыленной воды с очагом пожара

Наименование	Обозначение
Импульс капельной струи, Н	I
Площадь проекции капельной струи на горящий материал, м ²	S
Скорость тепловых потоков пожара, м/с	v_r
Объемная плотность пожарных газов, кг/м ³	ρ_r
Скорость фазовых переходов при испарении капельной жидкости, кг/(с·м ³)	k

Таким образом, показатель эффективности установки пожаротушения тонкораспыленной водой $\mathcal{E}_1$ может быть представлен в виде функции выбранных параметров

$$\mathcal{E}_1 = f(I, S, v_r, \rho_r, k). \quad (2)$$

Согласно π -теореме выражение (2) с пятью физическими размерными величинами может быть преобразовано в безразмерное выражение, содержащее две безразмерные комбинации вышеуказанных величин (числа π)

$$\pi = \varphi(\pi_1, \pi_2), \quad (3)$$

где π_1, π_2 – безразмерные комплексы, зависящие от I, S, v_r, ρ_r, k .

Вид комплексов π_1, π_2 найдем следующим образом. Из таблицы 1 выберем величины, включающие три основные единицы измерения, используемые в механике (m, s, kg), например v_r, ρ_r, k . Тогда комплексы π_1, π_2 могут быть представлены в виде

$$\pi_1 = \frac{I}{v_r^x \rho_r^y k^z}; \quad \pi_2 = \frac{S}{v_r^{x_1} \rho_r^{y_1} k^z}. \quad (4)$$

Показатели степени в выражениях (4) найдем из равенства суммы показателей числителя и суммы показателей знаменателя по каждой основной единице измерения.

Для единицы измерения m получаем уравнения

$$1 = x - 3y - 3z; \quad 2 = x_1 - 3y_1 - 3z_1. \quad (5)$$

Для единицы измерения c имеем

$$-2 = -x - z; \quad 0 = -x_1 - z_1, \quad (6)$$

аналогично для единицы измерения kg получаем

$$1 = y + z; \quad 0 = y_1 + z_1. \quad (7)$$

Решая систему уравнений (5) – (7), находим

$$x = 4; y = 3; z = -2; x_1 = 2; y_1 = 2; z_1 = -2. \quad (8)$$

Подставляя найденные значения показателей из формулы (8) в уравнения (4) имеем

$$\pi_1 = \frac{Ik^2}{v_\Gamma^4 \rho_\Gamma^3}; \quad \pi_2 = \frac{Sk^2}{v_\Gamma^2 \rho_\Gamma^2}. \quad (9)$$

π -теорема устанавливает только возможность функциональной связи (3), но не ее вид. Однако известно, что π_1 и π_2 могут быть связаны операциями умножения или деления. Вид такой связи устанавливают, исходя из физического смысла безразмерного комплекса и возможности физической интерпретации получившегося результата (непротиворечивости особенностям пожаротушения тонкораспыленной водой). В качестве комплексного показателя, характеризующего эффективность тушения пожара тонкораспыленной водой, предлагается принять мультипликативную свертку комплексов π_1, π_2

$$\pi_B = \pi_1 \pi_2 = \frac{Ik^4 S}{v_\Gamma^6 \rho_\Gamma^5}. \quad (10)$$

Числитель выражения (10) содержит параметры, способствующие тушению пожара I, k, S , а знаменатель – препятствующие тушению пожара.

Параметры v_Γ и ρ_Γ создают динамическое давление на капельный поток на площади S и уменьшают проникающую способность капель. Параметр k показывает интенсификацию парообразования при уменьшении диаметра капли и увеличении объемной доли капель [8].

В развернутом виде выражение (10) может быть представлено следующим образом:

$$\pi_{\text{в}} = \frac{G_{\text{к}} v_{\text{к}} S}{v_{\text{г}}^6 \rho_{\text{г}}^5} \left(\frac{6\beta\varphi_2 P}{d_{\text{к}}} \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi R T_1}} - \frac{1}{\sqrt{2\pi R T_2}} \right] \right)^4, \quad (11)$$

где $G_{\text{к}}$ – массовый расход капель, кг/с;
 $v_{\text{к}}$ – скорость капель, м/с;
 β – коэффициент испарения;
 φ_2 – объемная доля капель жидкости (в объеме пожара, на который воздействует струя);
 P – давление, Па;
 $d_{\text{к}}$ – диаметр капель, м;
 R – универсальная газовая постоянная, м²/(с²·К);
 T_1, T_2 – абсолютная температура воздуха и очага пожара, К.

Подсистему параметров, характеризующих технические и теплотехнические параметры, влияющих на эффективность устройства для тушения пожара тонкораспыленной водой, можно выбрать согласно таблице 2.

Таблица 2

Технические параметры устройства для тушения пожара тонкораспыленной водой

Наименование	Обозначение
Огнетушащая способность, м ²	E
Длительность тушения пожара, с	t
Давление в корпусе устройства, Па	P
Масса устройства (без огнетушащего вещества), кг	m

Тогда безразмерный комплекс $\pi_{\text{т}}$, характеризующий эффективность технической части пожаротушающего устройства, запишем в виде

$$\pi_{\text{т}} = f(E, t, P, m) = E f(t, P, m).$$

Комплекс $\pi_{\text{т}}$ зависит от четырех физических параметров, поэтому обобщенный комплекс состоит из одного уравнения

$$\pi_{\text{т}} = E^x t^y P^z m^z. \quad (12)$$

Показатели степеней в зависимости (12) находим из решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} 2 - y = 0 \\ x - 2y = 0 \\ y + z = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Решением системы (13) являются корни $x = 4$, $y = 2$, $z = -2$.

Тогда безразмерный комплекс π_t запишем в виде

$$\pi_t = \frac{E}{t^4} \left(\frac{P}{m} \right)^2. \quad (14)$$

Физический смысл выражения (14) очевиден. Комплекс π_t пропорционален огнетушащей способности E и квадрату отношения P/m и обратно пропорционален времени тушения пожара в четвертой степени. Отношение P/m характеризует металлоемкость огнетушащего устройства (более эффективное – устройство с меньшей массой (меньшей толщиной стенки корпуса) и большим давлением). Все параметры, отрицательно влияющие на эффективность тушения пожара, находятся в знаменателях выражения (14).

Эффективность действия на очаг пожара тонкораспыленной воды с учетом технических и конструктивных особенностей устройства пожаротушения охарактеризуем безразмерным комплексом

$$\pi_{BT} = \pi_B \pi_t \quad (15)$$

Подставляя (11) и (14) в выражение (15), получаем

$$\pi_{BT} = \frac{G_k v_k S}{v_\Gamma^6 \rho_\Gamma^5} \left(\frac{6\beta\phi_2 P}{d_k} \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi R T_1}} - \frac{1}{\sqrt{2\pi R T_2}} \right] \right)^4 \frac{E}{t^4} \left(\frac{P}{m} \right)^2.$$

Наиболее полно эффективность устройства пожаротушения характеризует технико-экономический показатель, учитывающий затраты на изготовление и эксплуатацию устройства C , руб.

$$C = C_\Pi + C_\Sigma,$$

где C_Π – стоимость, руб.;

C_Σ – эксплуатационные затраты, руб.

Тогда отношение π_{BT}/C – комплексный технико-экономический показатель, всесторонне характеризующий эффективность установок для тушения пожаров тонкораспыленной водой и демонстрирующий долю комплексного технического показателя эффективности, приходящуюся на один затраченный рубль, его размерность 1/руб. Такой метод расчета хорошо подходит для серийно выпускаемого оборудования, поскольку C_Π и C_Σ нетрудно определить.

Для вновь разрабатываемых пожаротушающих устройств на этапе конструкторской проработки можно оценить затраты на приобретение материалов и комплектующих C_m и C_k и использовать в качестве предварительной

оценки критерий $\frac{\pi_{\text{ВТ}}}{C_{\text{м}} + C_{\text{к}}}$, чем больше его значение, тем выше эффективность устройства для тушения пожара тонкораспыленной водой.

Выводы.

1. Эффективность устройств тушения пожара тонкораспыленной водой определяется одновременным влиянием частных показателей эффективности тонкораспыленной воды, конструктивно-технических параметров и стоимости.

2. Методом анализа размерностей на основе π -теоремы установлены безразмерные комплексы эффективности применения тонкораспыленной воды и технические параметры пожаротушающего устройства.

3. Частные показатели эффективности физически интерпретируемы и не противоречат современным представлениям об эффективности тонкораспыленной воды и конструктивно-технических параметров устройств данного типа.

4. Эффективность огнетушащего устройства прямо пропорциональна огнетушащей способности и квадрату отношения давления к массе и обратно пропорциональна времени тушения пожара в четвертой степени.

5. Полученный комплексный показатель эффективности может быть рекомендован для оценки и анализа устройств пожаротушения тонкораспыленной водой.

Список литературы / References

1. Пивоваров, В. В. Комплексная оценка огнетушителей и оптимизация их параметров / В. В. Пивоваров // Пожарная техника. Средства и способы пожаротушения : сборник научных трудов. – Москва : ВНИИПО МВД РФ, 1992. – С. 100 – 101.

Pivovarov, V. V. *Kompleksnaya otsenka ognetushiteley i optimizatsiya ikh parametrov* [Integrated assessment of fire-extinguishers and optimization of their parameters]. *Pozharnaya tekhnika. Sredstva i sposoby pozharotusheniya : collection of scientific papers*. Moscow, VNIIPOMVD RF Publ., 1992, pp. 100-101. (In Russian)

2. Куприн, Д. С. Об эффективности переносных огнетушителей при тушении твердых горючих материалов автомобилей / Д. С. Куприн, А. С. Поляков // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2020. – № 4. – С. 32 – 39.

Kuprin, D. S., Polyakov, A. S. *Ob effektivnosti perenosnykh ognetushiteley pri tushenii tverdykh goryuchikh materialov avtomobiley* [On effectiveness of portable fire-extinguishers in extinguishing solid combustibles of cars]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii*, 2020, no. 4, pp. 32-39. (In Russian)

3. Сытдыков, М. Р. Методика оценки эффективности порошкового огнетушителя со встроенной пористой емкостью (применительно к пожароопасным производственным объектам нефтебаз) : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (нефтегазовая отрасль)» :

диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сытдыков Максим Равильевич; Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. – Санкт-Петербург, 2013. – 115 с.

Sytdykov, M. R. *Metodika otsenki effektivnosti poroshkovogo ognetushitelya so vstroennoy poristoy yomkostyu (primenitelno k pozharoopasnym proizvodstvennym obyektam neftebaz) : dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Methodology of effectiveness assessment of the dry-chemical fire extinguisher with porous container (as applied to fire hazardous industrial facilities of oil depots) : 05.26.03 “Fire and Industrial Safety (oil and gas industry)” specialty Candidate of Technical Sciences dissertation / Sytdykov Maksim Ravilyevich, the Saint-Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. Saint Petersburg, 2013, 115 p. (In Russian)

4. Кожевин, Д. Ф. Методика комплексной оценки эффективности огнетушителей (применительно к пожароопасным объектам нефтебаз) : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (нефтегазовая отрасль)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кожевин Дмитрий Федорович; Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. – Санкт-Петербург, 2011. – 22 с.

Kozhevin, D. F. *Metodika kompleksnoy otsenki effektivnosti ognetushiteley (primenitelno k pozharoopasnym obyektam neftebaz) : avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Methodology of integrated assessment of fire-extinguishers effectiveness (as applied to fire hazardous industrial facilities of oil depots) : 05.26.03 “Fire and Industrial Safety (oil and gas industry)” specialty : abstract of the Candidate of Technical Sciences dissertation / Kozhevin Dmitry Fyodorovich, the Saint-Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. Saint Petersburg, 2011, 22 p. (In Russian)

5. Сорокин, И. А. Методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (нефтегазовая отрасль)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сорокин Игорь Александрович; Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. – Санкт-Петербург, 2021. – 23 с.

Sorokin, I. A. *Metodika otsenki effektivnosti poroshkovykh ognetushiteley pri tushenii pozharov na obyektakh neftegazovoy otrasli : avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchyonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Methodology of assessment of dry-chemical fire-extinguishers effectiveness in conditions of extinguishing fires at oil and gas industrial facilities : 05.26.03 “Fire and Industrial Safety (oil and gas industry)” specialty : abstract of the Candidate of Technical Sciences dissertation / Sorokin Igor Aleksandrovich, the Saint-Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. Saint Petersburg, 2021, 23 p. (In Russian)

6. Булгаков, Ю.Ф. Обоснование параметров и комплексная оценка огнетушителя комбинированного действия ВРК-8 / Ю. Ф. Булгаков, С. Г. Филимонов, В. А. Ломако // Горноспасательное дело. – Донецк : НИИГД, 2002. – 164 с.

Bulgakov, Yu. F., Filimonov, S. G., Lomako, V. A. *Obosnovanie parametrov i kompleksnaya otsenka ogetushitelya kombinirovannogo deystviya VRK-8* [Substantiation of parameters and integrated assessment of the BPK-8 composite fire-extinguisher]. *Gornospasatelnoe delo*, Donetsk, NIIGD Publ., 2002, 164 p. (In Russian)

7. Бриджмен, П. Анализ размерностей / П. Бриджмен. – 2-е изд. – Москва : МГУ, 2001. – 148 с.

Bridzhmen, P. *Analiz razmernostey. 2-e izd.* [Analysis of dimensions. The 2nd edition]. Moscow, MGU Press, 2001, 148 p. (In Russian)

8. Кутателадзе, С. С. Анализ подобия в теплофизике / С. С. Кутателадзе. – Новосибирск : Наука, 1982. – 280 с.

Kutateladze, S. S. *Analiz podobiya v teplofizike* [Analysis of conformity in thermal physics]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982, 280 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 08.02.2024
Дата опубликования 19.03.2024

Vladimir Grigoryevich Ageyev, Dr. Sci. (Tech.), director: e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;
Georgy Ivanovich Peftibay, Cand. Sci. (Tech.), head of department; e-mail: niigd.osmas-1@mail.ru;
Nikolay Aleksandrovich Galukhin, senior scientific associate; e-mail: niigd.osmas-7@mail.ru;
Vladimir Mikhaylovich Medgaus, head of department; e-mail: vladimir_medgaus@mail.ru
Federal State Institution "The Scientific Research Institute "Respirator" EMERCOM of Russia"
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-36

INTEGRATED ASSESSMENT OF PORTABLE FIRE-EXTINGUISHING WATER SPRAY DEVICES EFFICIENCY

Objective. To develop methods for integrated assessment of the water spray fire-extinguishing devices.

Methods. Applying the integrated approach to the fire-suppressing efficiency of the device, breaking into sub-systems, finding the particular efficiency indices using the dimensions analysis and the π -theorem, synthesizing the integrated index on the basis of derived particular efficiency indices.

Results. The index of the efficiency integrated assessment has been obtained factoring in the fire-suppressing properties of the atomized water, the construction and technical parameters and the cost-efficiency of the device.

Scientific novelty. The efficiency integrated assessment index for the water spray fire-extinguishing device has been developed with the distinguishing feature of having the suggested particular efficiency index for the atomized water fire-suppression included.

Practical value. The elaborated method of the integrated assessment of the fire-extinguishing device efficiency may be recommended for evaluation and comparison of the portable fire-extinguishing devices.

Keywords: *efficiency; fire-fighting; atomized water; analysis of dimensions; π -theorem.*

Citation. Ageyev V. G., Peftibay G. I., Galukhin N. A., Medgaus V. M. Integrated assessment of portable fire-extinguishing water spray devices efficiency. Nauchnyy vestnik NII "Respirator", 2024, no. 1(61), pp. 7-16. EDN FRZAPU.

УДК 614.841.2.001.5:[543.544.43:66.061.18]

Виктория Валентиновна Лебедева, нач. отд.; e-mail: vika.lebedeva.6363@mail.ru;

Олег Владимирович Храпоненко, науч. сотр.; e-mail: olghrap@mail.ru;

Оксана Николаевна Щербакова, вед. инж.; e-mail: astra-jasmin@mail.ru

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-55

ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТКОВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ В ПРОБАХ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ

Цель. На основании исследований разработать высокочувствительный метод обнаружения и дальнейшей идентификации многокомпонентных растворителей в следовых количествах во фрагментах, изъятых с места пожара, для установления причин их возникновения.

Методы. Экспериментальные исследования газообразных проб методом газожидкостной хроматографии. Математическая обработка данных, оценка значений показателей точности измерений.

Результаты. Проведены исследования по разделению компонентов модельной смеси, содержащей алкан (гексан), кетон (ацетон), сложный эфир (этилацетат) и арен (бензол), которые входят в состав наиболее распространенных и доступных органических растворителей. Выполнена оценка хроматографического разделения компонентов модельной смеси по количественному критерию – степени разделения. Разработана рецептура сорбентов и проведены сравнительные экспериментальные исследования по оценке их разделительной способности, на основании результатов которых разработан высокочувствительный метод обнаружения и последующей идентификации следовых количеств органических растворителей, находящихся на объектах-носителях различной природы (грунт, ткань, древесина и др.). Экспериментально подтверждено, что в выбранных условиях эксперимента пики параксилола и ортоксилола дают воспроизводимые значения времени удерживания, что позволяет проводить идентификацию органических растворителей по этому критерию параксилола и (или) ортоксилола.

Научная новизна. Впервые разработан метод обнаружения следовых количеств кислородсодержащих растворителей и растворителей нефтяной природы, который отличается высокой чувствительностью (10^{-10} г/см³) за счет способа подготовки и последующего анализа аналитической газообразной пробы; свойств разработанного полярного сорбента и выбранных рациональных условий эксперимента: температурного режима, расхода газа-носителя.

Практическая значимость. Результаты исследования послужили основой для разработки научно обоснованной методики для решения диагностических и идентификационных задач при пожарно-технических исследованиях фрагментов, изъятых с места пожаров, для установления причин их возникновения.

Ключевые слова: время удерживания; газожидкостная хроматография; критерий идентификации; многокомпонентные органические растворители; пожарно-технические исследования; степень разделения; хроматограмма.

Для цитирования: Лебедева В. В., Храпоненко О. В., Щербакова О. Н. Хроматографический метод определения остатков многокомпонентных растворителей в пробах после пожаров // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 1(61). – С. 17–28. EDN EFCOEH.

Постановка проблемы. Анализ статистики пожаров, связанных с поджогами за период 2018 – 2022 гг., показал, что, несмотря на наметившуюся

тенденцию к их снижению, количество, прямой материальный ущерб и число погибших в результате пожаров остаются весьма существенными [1].

На долю пожаров с поджогами техническими жидкостями приходится более 10 % от общего количества пожаров. При этом 8 % всех поджогов совершается с использованием наиболее распространенных и доступных смешанных кислородсодержащих растворителей, а также растворителей нефтяной природы: уайт-спирита, бензина «Галоша», сольвентов и др. Относительно высокая летучесть органических растворителей (табл. 1) в следовых количествах на объектах-носителях обуславливает трудности решения диагностических задач при пожарно-технических исследованиях фрагментов, изъятых с места пожара.

Таблица 1

Летучесть органических растворителей

Наименование	Значение летучести	Регламентирующий документ	Примечание
Растворитель марки 645	8...12	ГОСТ 18188–2020. Растворители марок 645, 646, 647, 648 для лакокрасочных материалов. Технические условия	Летучесть по этиловому эфиру
Растворитель марки 646	6...15		
Растворитель марки 647	7...12		
Растворитель марки 648	10...18		
Уайт-спирит	3,0...4,5	ГОСТ 3134–78. Уайт-спирит. Технические условия	Летучесть по ксилолу
Бензин «Галоша»	3	ТУ 38.401-67-108–92. Бензин-растворитель для резиновой промышленности. Технические условия	Летучесть по бутилацетату
Сольвент нефтяной (нефрас-А-130/150)	не более 1,2	ГОСТ 10214–78. Сольвент нефтяной. Технические условия	Летучесть по ксилолу

В практике пожарно-технических исследований к традиционному способу подготовки аналитических проб можно отнести жидкостную экстракцию, к наиболее востребованному методу их анализа – газожидкостную хроматографию [2–4]. Однако недостаточная чувствительность метода газожидкостной хроматографии при анализе жидких образцов не позволяет получать более полную и точную информацию о примененных ускорителях (акселерантах) или инициаторах горения – средствах поджога, что затрудняет решение диагностических задач и становится особенно значимой проблемой при проведении пожарно-технических исследований. В связи с этим разработка высокочувствительного метода диагностики органических растворителей

в следовых количествах на различных объектах-носителях после пожара представляет собой актуальную научную и практическую задачу. Кроме того, обосновывая актуальность обсуждаемой тематики, нельзя не отметить значимость разработки надежных и достоверных методик для установления природы и типа примененного инициатора горения, что в полной мере отвечает современным требованиям проведения пожарно-технических исследований.

Анализ последних исследований. Проблеме изучения состава органических растворителей при пожарно-технических исследованиях посвящены научные труды многих исследователей [5–7]. Современные аналитические методики диагностики инициаторов горения в основном предусматривают исследование проб в гексановых экстрактах из объектов, изъятых с места пожара, что нецелесообразно из-за низкой чувствительности метода газожидкостной хроматографии при анализе образцов в жидких формах [5]. Актуальность проблемы определила цель работы, которая заключается в разработке высокочувствительного метода обнаружения и идентификации многокомпонентных органических растворителей во фрагментах, изъятых с места пожара.

Цель работы – на основании исследований разработать высокочувствительный метод обнаружения и дальнейшей идентификации многокомпонентных растворителей в следовых количествах во фрагментах, изъятых с места пожара, для установления причин их возникновения

Методика эксперимента. В качестве объектов исследования выбрали наиболее распространенные в быту и доступные населению органические растворители:

- 1) растворитель марки 647 производства ООО «Омега» (Донецкая Народная Республика, г. Макеевка), выпускаемый по ГОСТ 18188–72;
- 2) сольвент нефтяной производства ООО «Омега» (Донецкая Народная Республика, г. Макеевка), выпускаемый по ГОСТ 10214–78;
- 3) уайт-спирит производства «Омега» (Донецкая Народная Республика, г. Макеевка), выпускаемый по СТО 00149765-005–2013;
- 4) бензин «Галоша» производства ООО «ГаРус» (Ставропольский край, г. Невинномысск), выпускаемый по ТУ 2388-001-79993493–2008.

Для исследований, как наиболее подходящий, был выбран метод газожидкостной хроматографии, отличающийся от других методов высокой эффективностью и экспрессностью [7]. Вместе с тем сдерживающий фактор широкого применения метода газожидкостной хроматографии в области пожарно-технических исследований – его недостаточная чувствительность при анализе жидких проб. Указанный недостаток целесообразно устранить, подготовив аналитическую пробу определенным способом и используя наиболее эффективный сорбент.

В качестве научной наработки для решения существующей проблемы был выбран разработанный способ подготовки аналитической пробы, который заключается в создании паровоздушной смеси над фрагментом, изъятый с места пожара, в специальном герметичном контейнере, исключая этапы предварительной жидкостной экстракции и последующего концентрирования аналитических проб [8].

В настоящей работе для получения эффективного сорбента исследованы выпускаемые промышленностью инертные твердые носители: хроматон N-AW, хезасорб AW-HMDS, хроматон N-AW-DMCS, а также жидкие фазы: полифениловый эфир 5ф-4э (ПФЭ 5ф-4э), апиезон L и Carbowax 6000 (табл. 2).

Таблица 2

Твердые носители и неподвижные жидкие фазы, выбранные для экспериментальных исследований

Неподвижная жидкая фаза	Содержание жидкой фазы, масс. %	Твердый носитель	Фракция, мм	Длина колонки, м
ПФЭ 5ф-4э	10	Хроматон N-AW	0,250...0,315	3
ПФЭ 5ф-4э	15			
Апиезон L	15	Хезасорб AW-HMDS		
Carbowax 6000	15	Хроматон N-AW-DMCS	0,315...0,400	

Сравнительная оценка разделительной способности колонок (табл. 2) выполнена по результатам исследования модельной смеси, приготовленной из представителей различных классов химических соединений: кетона (ацетон), арена (бензол), алкана (гексан) и сложного эфира (этилацетат). Количественным критерием оценки эффективности хроматографического разделения компонентов модельной смеси служила степень разделения Ψ , значение которой рассчитано по формуле

$$\Psi = \frac{h - h_{\min}}{h},$$

где h – высота наименьшего из двух пиков, измеряемая от нулевой линии, мм;

$h_{\min}$ – высота минимума между пиками, измеряемая от нулевой линии, мм.

Исследования проведены на газовом хроматографе с пламенно-ионизационным детектором и стальными насадочными колонками длиной 3 м.

Результаты исследования. Для получения предварительной информации о возможности эффективного разделения исследуемых органических растворителей на приготовленных колонках (табл. 2) вначале были записаны и проанализированы хроматограммы разделения модельной смеси (рис. 1).

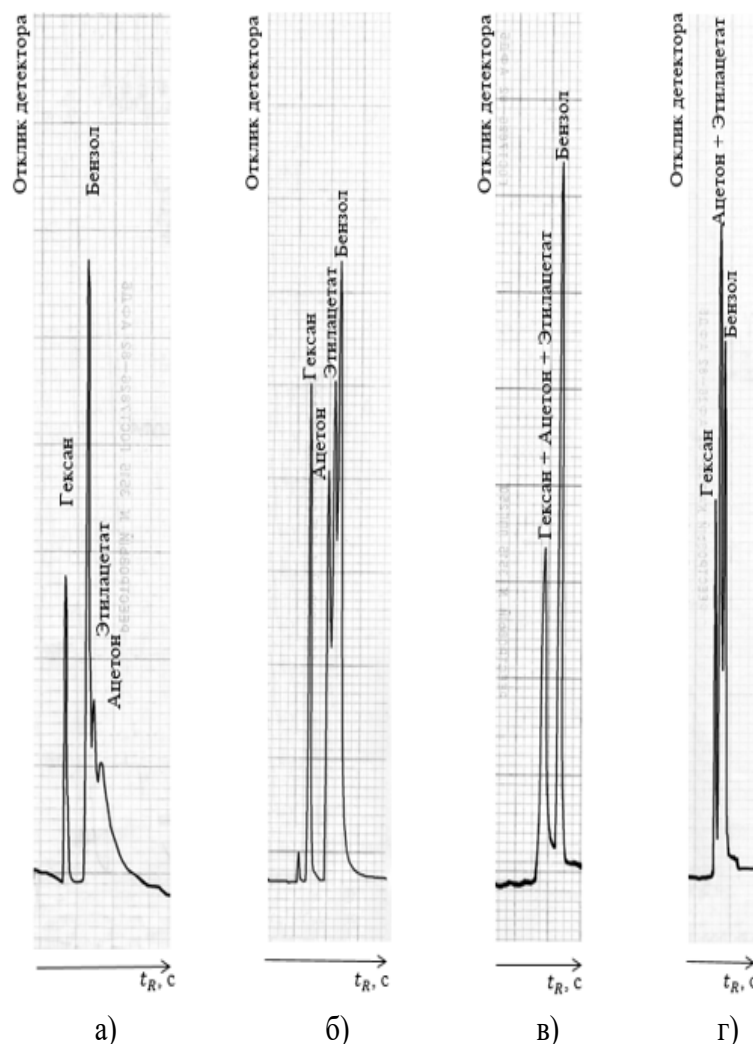


Рис. 1. Хроматограммы разделения модельной смеси на колонках, заполненных сорбентами:

- а) хроматоном N-AW, модифицированным 10 % ПФЭ 5ф-4э;
- б) хроматоном N-AW, модифицированным 15 % ПФЭ 5ф-4э;
- в) хезасорбом AW-HMDS, модифицированным 15 % апиэзона L;
- г) хроматоном N-AW-DMCS, модифицированным 15 % Carbowax 6000

В результате обработки хроматограмм (рис. 1) рассчитано значение Ψ компонентов модельной смеси на различных колонках (табл. 3).

Таблица 3

Степень разделения компонентов модельной смеси на различных колонках

Разделяемая пара компонентов	Значение Ψ
10 % ПФЭ 5ф-4э на хроматоне N-AW (колонка 1)	
Этилацетат – бензол	0,27
Ацетон – этилацетат	0,19
15 % ПФЭ 5ф-4э на хроматоне N-AW (колонка 2)	
Ацетон – этилацетат	0,54
Этилацетат – бензол	0,45
15 % апиезона L на хезасорбе AW-HMDS (колонка 3)	
(гексан + ацетон + этилацетат) – бензол	0,97
15 % Carbowax 6000 на хроматоне N-AW-DMCS (колонка 4)	
*(ацетон + этилацетат) – гексан	0,95
*(ацетон + этилацетат) – бензол	0,62

* Неразделившийся хроматографический пик.

Наилучшим образом разделение ацетона и этилацетата ($\Psi = 0,54$), этилацетата и бензола ($\Psi = 0,45$) происходит на колонке 2, однако в зависимости от концентрации пробы изменяется значение времени удерживания эфиров и кетонов, что усложняет идентификацию органических растворителей. Кроме того, на колонках 1, 2 и 3 хроматографические пики сложных эфиров и ацетона отличаются асимметричностью (рис. 1), что также в итоге затрудняет идентификацию веществ. Сравнивая разделительную способность колонок 1 и 2, можно сделать вывод о том, что увеличение количества жидкой фазы ПФЭ 5ф-4э на 5 % улучшило разделительную способность колонки 2 практически в два раза. Свойства колонки 3 не обеспечили разделения гексана и пары «ацетон – этилацетат». Установлено, что для целей идентификации кислородсодержащих и растворителей нефтяной природы наиболее эффективна колонка 4, которая с высокой степенью достоверности позволила отделить пару «ацетон – этилацетат» от гексана ($\Psi = 0,95$) и бензола ($\Psi = 0,62$).

Для оценки разделительной способности исследуемых колонок получены хроматограммы разделения компонентов растворителя марки 647 на хроматоне N-AW, модифицированном 10 % ПФЭ 5ф-4э (а) и 15 % ПФЭ 5ф-4э (б), хезасорбе AW-HMDS, модифицированном 15 % апиезона L (в), и хроматоне N-AW-DMCS, модифицированном 15 % Carbowax 6000 (г) (рис. 2).

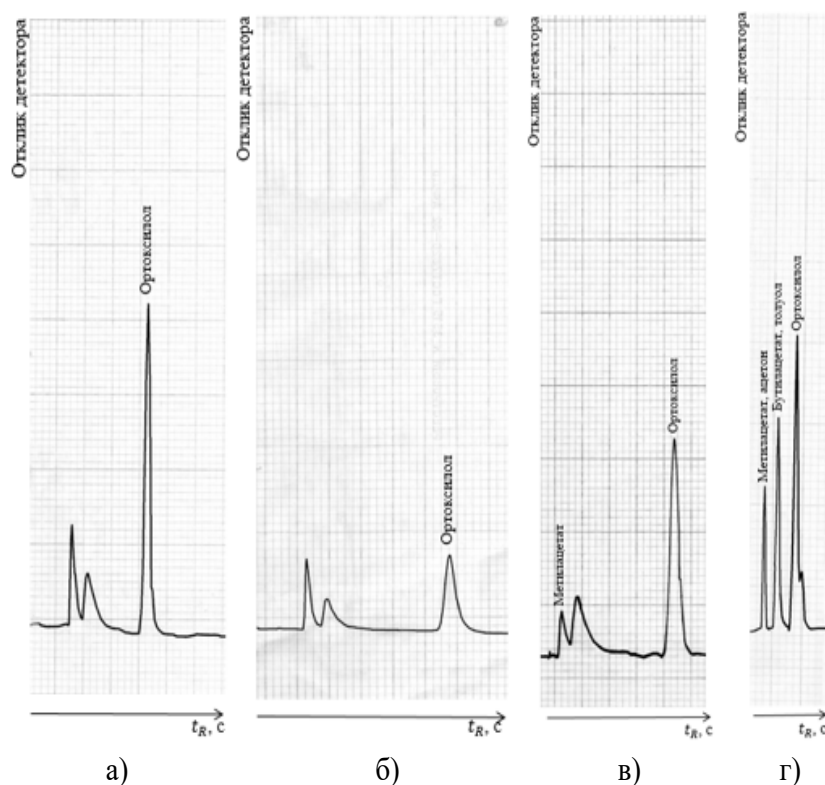


Рис. 2. Хроматограммы растворителя марки 647 на колонках, заполненных сорбентами (наименование сорбентов см. рис. 1)

Разделение компонентов уайт-спирита на приготовленных колонках (табл. 2) показано на хроматограммах (рис. 3).

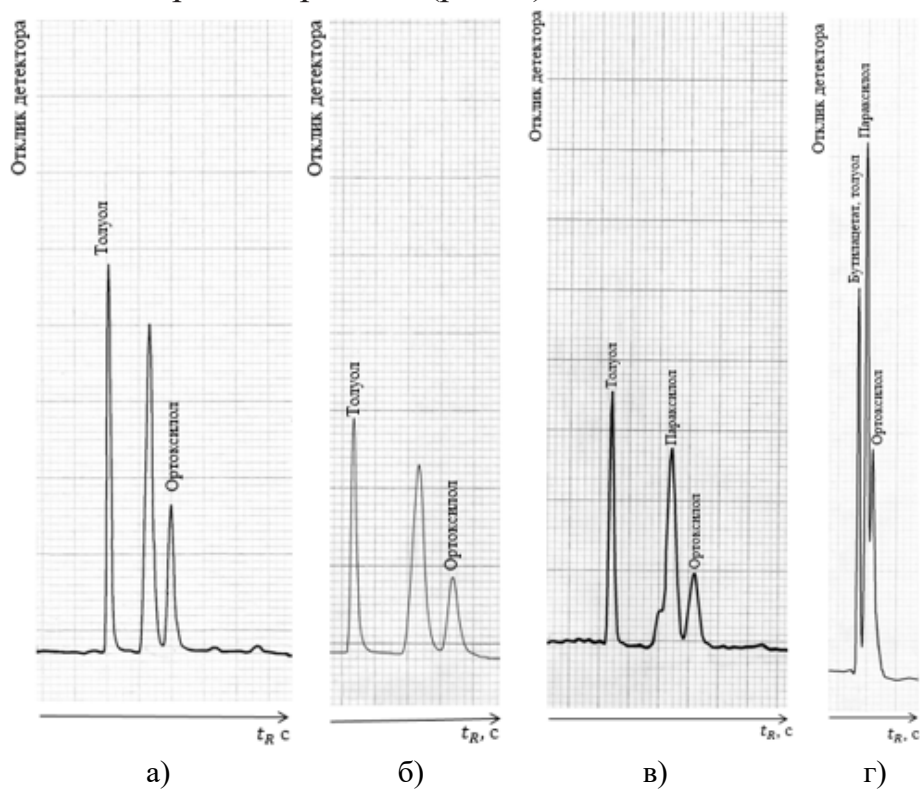


Рис. 3. Хроматограммы уайт-спирита на колонках, заполненных сорбентами (наименование сорбентов см. рис. 1)

Хроматограммы разделения компонентов сольвента нефтяного (производство «Омега») на исследуемых сорбентах приведены на рисунке 4.

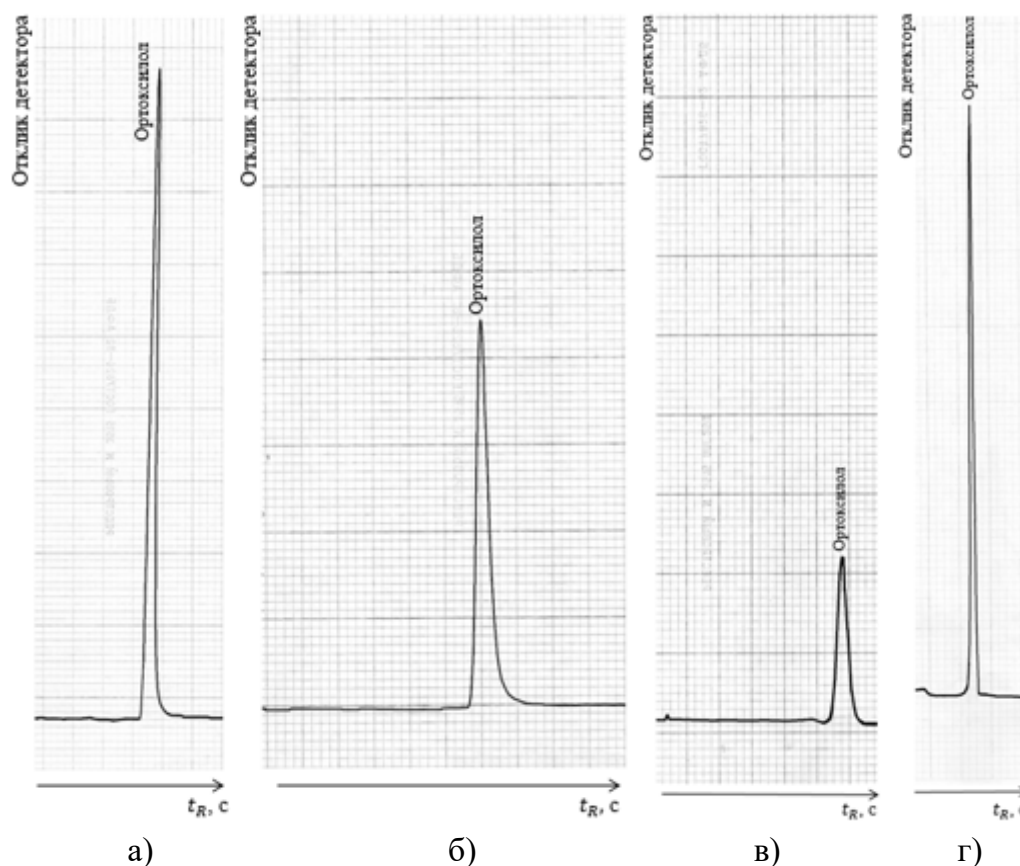


Рис. 4. Хроматограммы сольвента на колонках, заполненных сорбентами (наименование сорбентов см. рис. 1)

Разделение компонентов бензина «Галоша» на приготовленных колонках показано на хроматограммах (рис. 5).

На основании результатов исследования по разделению модельной смеси и органических растворителей установлено, что среди исследованных сорбентов наилучшим образом разделение компонентов органических растворителей обеспечивает хроматон N-AW-DMCS, модифицированный 15 % Carbowax 6000 (от массовой доли хроматона N-AW-DMCS) фракции 0,315...0,400 мм.

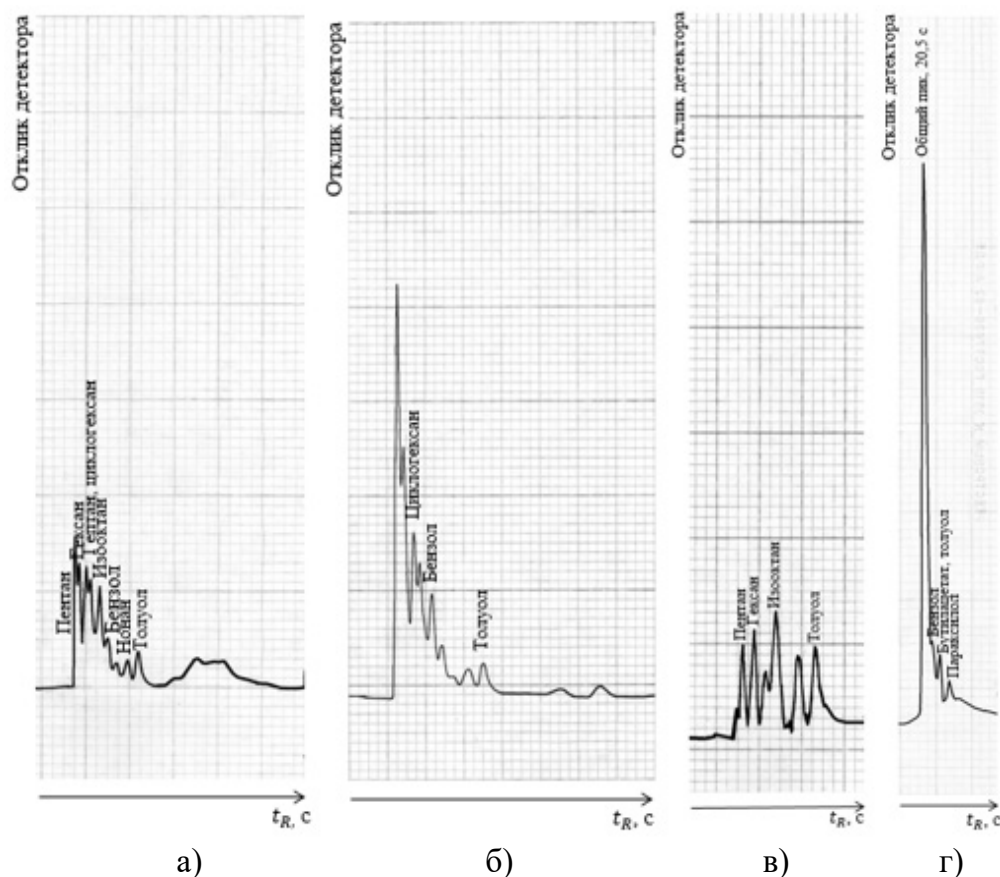


Рис. 5. Хроматограммы бензина «Галоша» на колонках, заполненных сорбентами (наименование сорбентов см. рис. 1)

Для определения принадлежности сравниваемых объектов к определенной марке растворителя приняты следующие критерии идентификации:

- внешний вид хроматограммы: форма, количество и взаимное расположение пиков;
- наличие в пробе параксилола и (или) ортоксилола.

Вывод. Разработан метод, высокая чувствительность которого (10^{-10} г/см³) позволяет решать диагностические задачи: обнаружение не воспринимаемых органолептическим способом следов растворителей, установление природы вещества неизвестного происхождения в целях отнесения его к растворителям нефтяного или ненефтяного происхождения, и идентификационные: определение принадлежности сравниваемых объектов к определенной марке растворителя, задачи в области пожарно-технических исследований для установления причин возникновения пожара.

Список литературы / References

1. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году : информационно-аналитический сборник. – Балашиха : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. – 80 с.

Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2022 godu : informatsionno-analiticheskiy sbornik [Fires and fire safety in 2022: information and analytical digest]. Balashikha, FGBU VNIPO MChS Rossii Publ., 2023, 80 p. (In Russian)

2. Yin, G. Research progress on interference in the identification of accelerants in a fire scene / P. Qian, F. Liqiu, J. Ji, L. Liu, J. Zhang // *Se Pu*. – 2022. – 40(5). – P. 401 – 408. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov> (дата обращения: 13.11.2023).

3. Яценко, Л. А. Идентификация нефтепродуктов и технических жидкостей методом газожидкостной хроматографии по индексам удерживания / Л. А. Яценко, А. А. Воронцова, И. Д. Чешко // *Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности*. – 2017. – № 1. – С. 6 – 16.

Yatsenko, L. A., Vorontsova, A. A., Cheshko, I. D. *Identifikatsiya nefteproduktov i tekhnicheskikh zhidkostey metodom gazozhidkostnoy khromatografii po indeksam uderzhivaniya* [Identification of oil products and technical fluids by vapor phase chromatography using the retention indices]. *Nadzornaya i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti*, 2017, no. 1, pp. 6-16. (In Russian)

4. Проблемы и перспективы использования пожарно-техническими специалистами современных способов обнаружения и исследования средств для поджога / А. А. Воронцова, Д. В. Калашников, А. А. Липский, О. А. Эсатов // *Вестник Воронежского института ГПС МЧС России*. – 2017. – № 2(23). – С. 72 – 77.

Vorontsova, A. A., Kalashnikov, D. V., Lipskiy, A. A., Esatov, O. A. *Problemy i perspektivy ispolzovaniya pozharno-tekhnicheskimi spetsialistami sovremennykh sposobov obnaruzheniya i issledovaniya sredstv dlya podzhoga* [Problems and perspectives of using the modern methods by fire investigators for arson accelerants detection and investigation]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii*, 2017, no. 2(23), pp. 72-77. (In Russian)

5. Яценко, Л. А. Обнаружение следов смешанных растворителей методом газожидкостной хроматографии по составу газовой фазы над объектом-носителем / Л. А. Яценко // *Проблемы управления рисками в техносфере*. – 2023. – № 1(65). – С. 157 – 169.

Yatsenko, L. A. *Obnaruzhenie sledov smeshannykh rastvoriteley metodom gazozhidkostnoy khromatografii po sostavu gazovoy fazy nad obyektom-nositelem* [Detection of mixed solvents residues applying vapor phase chromatography analysing a gas phase content above a support]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2023, no. 1(65), pp. 157-169. (In Russian)

6. Кочеткова, Е. Б. Экспериментальное определение времени возникновения пожара при изучении кинетики сохранения остатков светлых нефтепродуктов в объектах-носителях разной природы // *Техносферная безопасность*. – 2023. – № 1(38). – С. 61 – 71.

Kochetkova, Ye. B. *Eksperimentalnoe opredelenie vremeni vozniknoveniya pozhara pri izuchenii kinetiki sokhraneniya ostatkov svetlykh nefteproduktov*

v obyektakh-nositelyakh raznoy prirody [Experimental detection of a fire origin time in the process of investigation of light oil products residue preservation kinetics in supports of various nature]. *Tekhnosfernaya bezopasnost*, 2023, no. 1(38), pp. 61-71. (In Russian)

7. Исследование возможности определения легковоспламеняющихся жидкостей методом газовой хроматографии / А. А. Козлитин, В. В. Лебедева, И. Н. Непочатых, О. В. Храпоненко, Т. М. Лукомская, О. Н. Щербакова // Вестник Института гражданской защиты Донбасса. – 2015. – Вып. 2(2). – С. 38–44.

Kozlitin, A. A., Lebedeva, V. V., Nepochatykh, I. N., Khraponenko, O. V., Lukomskaya, T. M., Shcherbakova, O. N. *Issledovanie vozmozhnosti opredeleniya legkovosplamenyayushchikhsya zhidkostey metodom gazovoy khromatografii* [Investigation of a possibility to determine highly flammable liquids applying gas chromatography]. *Vestnik Instituta grazhdanskoy zashchity Donbassa*, 2015, issue 2(2), pp. 38-44. (In Russian)

8. Метод извлечения остатков горючих жидкостей с места пожара / А. А. Козлитин, В. В. Лебедева, В. В. Шаповалов, И. Н. Непочатых // Вестник Академии гражданской защиты. – 2019. – Вып. 1(17). – С. 60 – 67.

Kozlitin, A. A., Lebedeva, V. V., Shapovalov, V. V., Nepochatykh, I. N. *Metod izvlecheniya ostatkov goryuchikh zhidkostey s mesta pozhara* [Technique of collecting the highly flammable liquids residues at a fire scene]. *Vestnik Akademii grazhdanskoy zashchity*, 2019, issue 1(17), pp. 60-67. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 05.12.2023
Дата опубликования 19.03.2024

Viktoria Valentinovna Lebedeva, head of department; e-mail: vika.lebedeva.6363@mail.ru;

Oleg Vladimirovich Khraponenko, scientific associate; e-mail: olghrap@mail.ru;

Oksana Nikolayevna Shcherbakova, principle engineer; e-mail: astra-jasmin@mail.ru

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

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-55

CHROMATOGRAPHIC TECHNIQUE FOR IDENTIFICATION OF MULTICOMPONENT SOLVENTS RESIDUES IN SAMPLES COLLECTED AFTER FIRE INCIDENTS

Objective. On the basis of the investigations to design a highly sensitive technique for detection and further identification of multicomponent solvents contained in residual amounts in fragments collected at a fire scene in order to detect the fire causes.

Methods. Experimental investigations of the gaseous samples applying the vapor phase chromatography. Mathematical data processing, assessment of values of the measurement accuracy indicators.

Results. The studies were conducted on separating the model mixture containing alkane (hexane), ketone (acetone), compound ether (ethyl acetate) and arene (benzene) which are a part of the most popular and

available organic solvents. The assessment of chromatographic resolution of the model mixture components according to the quantitative criterion, i.e. resolution factor, was conducted. The sorbents formula was designed and the comparative experimental studies on assessment of their separation capacity were fulfilled; based on the experiment results the highly sensitive technique for detection and following identification of the residual amounts of solvents remained on the supports of the various nature (soil, fabric, wood, etc.) was developed. It was experimentally confirmed that the peak responses of paraxylene and orthoxylene give the consistent retention time values in the determined conditions of the experiment which enables identification of organic solvents by the paraxylene and (or) orthoxylene retention time.

Scientific novelty. For the first time ever the technique was developed for detecting the residual amounts of oxygen-containing solvents and oil-based solvents, it is distinguished by its high sensitivity (10^{-10} g/cm³) warranted by the preparation technique and following analysis of the analytical gaseous sample; the characteristics of designed polar sorbent and selected rational conditions of the experiment, temperature setting, gas-carrier rate.

Practical value. The results of the investigation facilitated the development of the scientifically based technique for solution of diagnostic and identification problems in the fire investigation of the fragments collected at the fire scene in order to establish the causes.

Keywords: *retention time; vapor phase chromatography; identification criterion; multicomponent organic solvents; fire investigations; resolution factor; chromatogram.*

Citation: *Lebedeva V. V., Khraponenko O. V., Shcherbakova O. N. Chromatographic technique for identification of multicomponent solvents residues in samples collected after fire incidents. Nauchnyy vestnik NII "Respirator", 2024, no. 1(61), pp. 17-28. EDN EFCOEH.*

УДК 614.841.245

Александр Петрович Ковалев, д-р техн. наук, проф., науч. сотр.; e-mail: saponenko60@mail.ru
Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС ДНР»
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-79-07
Илья Адольфович Бершадский, д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой; e-mail: ibersh164@yandex.ru;
Анатолий Дмитриевич Мых, асп.; e-mail: vip.myh@mail.ru;
Андрей Викторович Згарбул, канд. техн. наук, доц. кафедры; e-mail: zgarbul.andrey@gmail.com
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий национальный технический университет»
283001, Донецк, ул. Артема, 58. Тел.: +7 (949) 414-28-12

ОЦЕНКА РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель. Разработать методику оценки пожароопасности при эксплуатации электрифицированных помещений для снижения рисков возникновения пожаров.

Методы. Теоретические исследования проводили с использованием математического аппарата однородных марковских процессов с дискретным числом состояний и непрерывным временем.

Результат. Установлена зависимость возникновения пожаров в помещениях, где эксплуатируются сети 0,38/0,22 кВ, при случайном появлении ослабленного и опасно нагретого силового контактного соединения. Приведен пример расчета пожаробезопасности электрифицированного помещения.

Научная новизна. Установленная аналитическая зависимость отличается от известных тем, что учитывает частоту появления опасно нагретого силового контактного соединения (штепсельная электроколодка с включенной штепсельной электровилкой) и длительность нахождения горючего материала на его поверхности, надежность средств защиты сети 0,38/0,22 кВ и сроки ее диагностики.

Практическая значимость. Предложенная методика оценки пожаробезопасности электрифицированных помещений, где эксплуатируются сети 0,38/0,22 кВ, позволила определить основные факторы, которые влияют на риск возникновения пожаров.

Ключевые слова: *риск; пожарная безопасность; система электроснабжения; узел нагрузки; электрифицированное помещение; средства защиты.*

Для цитирования: Ковалев А. П., Бершадский И. А., Мых А. Д., Згарбул А. В. Оценка рисков возникновения пожаров при эксплуатации электрифицированных помещений // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 1(61). – С. 29–37. EDN GMHQFB.

Постановка проблемы. Аварии техногенного характера ежегодно происходят в разных странах и имеют тяжелые последствия. В ООН была принята «Конвенция о трансграничном воздействии промышленных аварий», в которой признается необходимость сотрудничества государств ЕС в проведении исследований и разработке методов и технологий для предотвращения аварий техногенного характера, обеспечения готовности к ним и ликвидации их последствий.

Согласно статистике в последние годы пожары в электрифицированных помещениях из-за повреждений в электрической сети составляют примерно 30...50 % от общего числа, их доля ежегодно увеличивается [1, 2].

Приведенные данные свидетельствуют о том, что проблема обеспечения пожаробезопасности узлов нагрузки электрифицированных помещений до сих пор полностью не решена.

Анализ последних исследований и публикаций. Марковские процессы с дискретным числом состояний и непрерывным временем нашли широкое применение при построении модели взрывов в электрифицированных помещениях [3–5]. Математический аппарат однородных марковских процессов отличается от логико-вероятностного тем, что позволяет кроме частоты появления событий учитывать и их длительность, а это даст возможность более точно прогнозировать вероятность наступления аварий (катастроф) в электрифицированных помещениях.

Результаты исследования. Под риском будем понимать меру опасности возникновения пожаров при эксплуатации электрифицированных помещений.

Риск при эксплуатации электрифицированных помещений может быть измерен числом пожаров H в единицу времени.

Пожар в электрифицированном помещении может происходить при одновременном наступлении трех случайных событий: нагревание силового контактного соединения до опасной температуры; наличие горючего материала (пыль, опилки, легковоспламеняющаяся жидкость и т.д.) на поверхности силового контактного соединения или штепсельной электроколодки; отказ в срабатывании автоматической защиты из-за повреждения силового контактного соединения (штепсельная электроколодка с включенной штепсельной электровилкой, контактные соединения электросчетчика с выводами автоматического выключения и т.д.).

Под опасной температурой силового контактного соединения будем понимать такую, при которой возможно воспламенение горючих материалов, непосредственно соприкасающихся с контактным соединением.

Изменение температуры силового контактного соединения в виде случайной функции $\alpha(\tau)$ может принимать два значения: 0 – в системе электроснабжения 0,38/0,22 кВ отсутствуют опасно нагретые силовые контактные соединения; 1 – в системе электроснабжения 0,38/0,22 кВ появился опасно нагретый силовой контакт (штепсельная электроколодка с включенной штепсельной электровилкой).

Характер изменения функции $\alpha(\tau)$ с течением времени представляет собой чередующиеся отрезки времени $\alpha_1^{(0)}, \alpha_2^{(0)}, \dots, \alpha_m^{(0)}$ и $\alpha_1^{(1)}, \alpha_2^{(1)}, \dots, \alpha_m^{(1)}$, для которых последовательно $\alpha(\tau) = 0$ и $\alpha(\tau) = 1$, где промежутки $\alpha_j^{(0)}$, $j = 1, m$ – случайные интервалы времени между появлением опасно нагретых силовых контактных соединений, $\alpha_j^{(1)}$ – случайный интервал времени нахождения силового контактного соединения в опасном состоянии.

Наличие или отсутствие горючего материала на поверхности штепсельной электроколодки в сети 0,38/0,22 кВ представим в виде случайной функции

$\xi(\tau)$, которая может принимать два значения: 0 – на поверхности штепсельной электропроводки силового контактного соединения отсутствует пожароопасная среда; 1 – на поверхности штепсельной электроколодки силового контактного соединения присутствует пожароопасная среда (пыль, частицы ветоши и т.д.).

Изменение функции $\xi(\tau)$ с течением времени представляет собой чередующиеся отрезки времени $\beta_1^{(0)}, \beta_2^{(0)}, \dots, \beta_n^{(0)}$ и $\beta_1^{(1)}, \beta_2^{(1)}, \dots, \beta_n^{(1)}$, для которых последовательно $\xi(\tau) = 0$ и $\xi(\tau) = 1$, где промежутки времени $\xi_i^{(0)}$, $i = \overline{1, n}$ – случайные интервалы времени между появлением горючего материала на поверхности штепсельной электроколодки; $\xi_i^{(1)}$ – длительность нахождения горючего материала на поверхности штепсельной электроколодки.

Изменение состояния средств защиты, которые реагируют на появление недопустимо высокой температуры силовых контактных соединений в сети 0,38/0,22 кВ, представим в виде случайной функции $\beta(\tau)$, которая может принимать два значения: 0 – система защиты находится в работоспособном состоянии (ждущий режим); 1 – система защиты находится в неработоспособном состоянии.

Характер изменения функции $\beta(\tau)$ с течением времени представляет собой чередующиеся отрезки времени $\beta_1^{(0)}, \beta_2^{(0)}, \dots, \beta_\gamma^{(0)}$ и $\beta_1^{(1)}, \beta_2^{(1)}, \dots, \beta_\gamma^{(1)}$, где промежутки времени $\beta_\gamma^{(1)}$, $k = \overline{1, \gamma}$ – случайные интервалы времени между отказами автоматической системы защиты в коммутационном аппарате; $\beta_\gamma^{(1)}$ – случайное время нахождения автоматической системы защиты автоматического выключателя в необнаруженном отказавшем состоянии.

В этом случае пожар в электрифицированном помещении произойдет в момент наложения случайных промежутков времени $\alpha_j^{(1)}$, $\xi_i^{(1)}$ и $\beta_k^{(1)}$.

Пожар в электрифицированном помещении зависит не от длины общей части наложившихся промежутков времени $\alpha_j^{(1)}$, $\xi_i^{(1)}$ и $\beta_k^{(1)}$, а от того, соприкоснулись они или нет.

Для функции $\alpha(\tau)$ вероятность нагревания силового контактного соединения до пожароопасного состояния за промежуток времени $\Delta\tau$ равна $\lambda_1\Delta\tau + 0(\Delta\tau)$, где $0(\Delta\tau)$ – значение вероятности более высокого порядка малости по сравнению с $\Delta\tau$. Вероятность того, что за время $\Delta\tau$ температура силового контактного соединения перестанет быть пожароопасной, будет равна $\mu_1\Delta\tau + 0(\Delta\tau)$.

Параметр λ_1 характеризует интенсивность или скорость, с которой пожаробезопасное состояние силового контактного соединения перейдет в пожароопасное; μ_1 – интенсивность или скорость, с которой пожароопасное состояние силового контактного соединения переходит в пожаробезопасное.

Функция $\xi(\tau)$ показывает, что вероятность появления горючего материала на поверхности штепсельной электроколодки силового контактного соединения за промежуток времени $\Delta\tau$ будет равна $\lambda_2\Delta\tau + 0(\Delta\tau)$.

Вероятность того, что за время Δt произойдет переход из состояния, когда пожароопасная среда находится на поверхности штепсельной электроколодки, к состоянию, когда на поверхности штепсельной электроколодки будет отсутствовать пожароопасная среда, определим как $\mu_2 \Delta t + 0(\Delta t)$.

Параметр λ_2 характеризует интенсивность или скорость, с которой в сети 0,38/0,22 кВ на силовых контактных соединениях или на поверхности штепсельной электропроводки образуется пожароопасная среда; μ_2 характеризует интенсивность или скорость обнаружения и ликвидации опасной в отношении возгорания среды на поверхности штепсельной электроколодки.

С помощью функции $\beta(\tau)$ определяют вероятность появления отказов в автоматической системе защиты коммутационного аппарата за промежуток времени Δt , которая будет равна $\lambda_3 \Delta t + 0(\Delta t)$.

Вероятность перехода из неработоспособного состояния автоматической системы защиты коммутационного аппарата в работоспособное за время Δt будет равна $\mu_3 \Delta t + 0(\Delta t)$.

Параметр λ_3 характеризует интенсивность или скорость, с которой через промежутки времени работоспособное состояние автоматической системы защиты коммутационного аппарата переходит в неработоспособное; μ_3 характеризует интенсивность или скорость, с которой через промежутки времени неработоспособное состояние автоматической системы защиты коммутационного аппарата переходит в работоспособное.

Диагностику состояния автоматической системы защиты коммутационного аппарата проводят с интервалом времени θ .

Предполагается, что методы диагностики автоматической системы отключения, в том числе и защиты коммутационного аппарата, абсолютно надежны; длительность диагностики намного меньше интервала времени между двумя диагностическими проверками.

Пожар в электрифицированном помещении происходит в момент, когда $\alpha(\tau) = 1$, $\xi(\tau) = 1$ и $\beta(\tau) = 1$ [7].

Будем считать, что в начальный момент времени $\alpha(\tau) = 0$, $\beta(\tau) = 0$ и $\beta(\tau) = 0$.

Задача состоит в том, чтобы, зная параметры процессов $\lambda_1 \mu_1$; $\lambda_2 \mu_2$; $\lambda_3 \mu_3$ и интервал времени между диагностикой автоматической системы отключения коммутационного аппарата θ_3 , определить меру опасности возникновения пожаров при эксплуатации электрифицированных помещений.

Совокупность процессов $\alpha(\tau)$, $\xi(\tau)$ и $\beta(\tau)$ рассмотрим как один однородный процесс Маркова $\chi(\tau)$ с восемью дискретными состояниями и непрерывным временем.

В любой момент времени система «источник – среда – защита» может находиться в одном из восьми состояний (рис. 1):

$$E\{e_1(0,0,0), e_2(1,0,0), e_3(0,1,0), e_4(0,0,1), e_5(1,0,1), e_6(0,1,1), e_7(1,1,0), e_8(1,1,1)\}.$$

При случайном попадании системы «источник – среда – защита» в поглощающее состояние $e_8(1,1,1)$ происходит возгорание горючего материала в электрифицированном помещении.

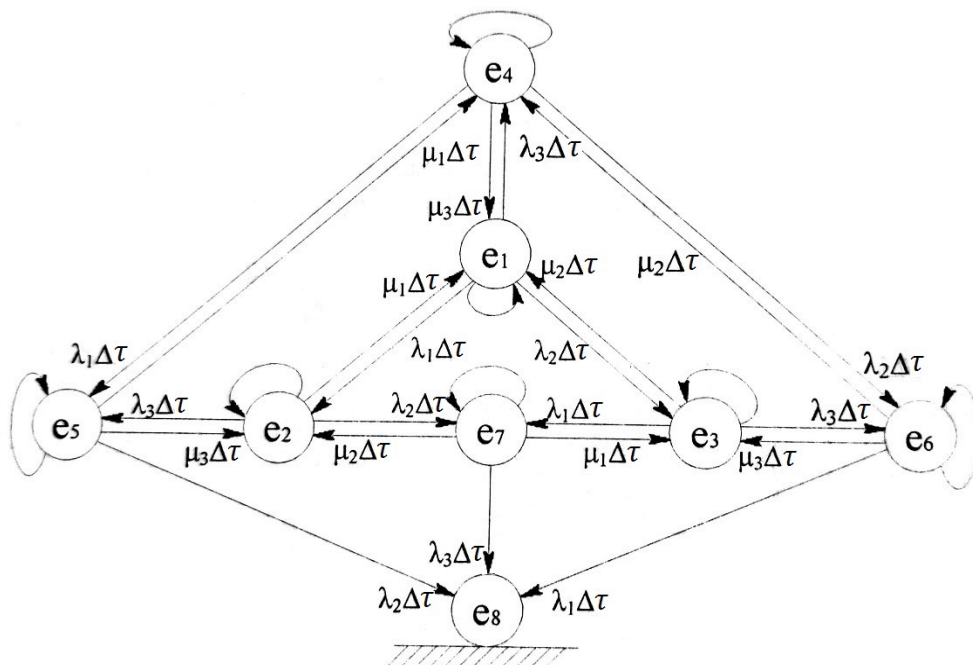


Рис. 1. Граф вероятностей переходов системы «источник – среда – защита» за время $\Delta\tau$

Меру опасности возникновения пожаров в электрифицированных помещениях можно определить по известной теореме восстановления

$$H = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{H(\Delta\tau)}{\Delta\tau} = \frac{1}{\tau_1}, \quad (1)$$

где τ_1 – среднее время до попадания системы в поглощающее состояние, если в начальный момент времени система «источник – среда – защита» находилась в состоянии $e_1(0,0,0)$, ч.

Значение τ_1 находят из алгебраической системы уравнений, записанной в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \\ \tau_5 \\ \tau_6 \\ \tau_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-\alpha_1 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\mu_1 & 1-\alpha_2 & 0 & 0 & -\lambda_3 & 0 & -\lambda_2 \\ -\mu_2 & 0 & 1-\alpha_3 & 0 & 0 & -\lambda_3 & -\lambda_1 \\ -\mu_3 & 0 & 0 & 1-\alpha_4 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & 0 \\ 0 & -\mu_3 & 0 & -\mu_1 & 1-\alpha_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\mu_3 & -\mu_2 & 0 & 1-\alpha_6 & 0 \\ 0 & -\mu_2 & -\mu_1 & 0 & 0 & 0 & 1-\alpha_7 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $\alpha_1 = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$; $\alpha_2 = \mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3$; $\alpha_3 = \lambda_1 + \mu_2 + \lambda_3$; $\alpha_4 = \lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3$;
 $\alpha_5 = \mu_1 + \mu_2 + \lambda_3$; $\alpha_6 = \mu_1 + \lambda_2 + \mu_3$; $\alpha_7 = \lambda_1 + \mu_2 + \mu_3$;

$$x_i = \frac{1}{\bar{d}_i}; \mu_i = \frac{1}{d_i} \text{ при } i = 1, 2, 3;$$

где $\bar{d}_1, d_1$ – средний интервал времени между появлениями опасно нагретого силового контактного соединения и длительность его существования;

$\bar{d}_2, d_2$ – средний интервал времени между нахождением горючего материала на поверхности штепсельной электроколодки и средняя длительность нахождения горючего материала на поверхности штепсельной электроколодки;

$\bar{d}_3, d_3$ – средний интервал времени между отказами автоматической системы отключения коммутационного аппарата и средняя длительность нахождения ее в необнаруженном отказавшем состоянии.

Если известен интервал времени между диагностическими проверками автоматической системы отключения θ_3 коммутационного аппарата, тогда среднее время нахождения ее в необнаруженном отказавшем состоянии определим следующим образом [8]:

$$\mu_3 = \frac{1}{\theta_3 - \frac{1}{\lambda_3} [1 - \exp(-\lambda_3 \theta_3)]}. \quad (3)$$

Если выполняется условие $\lambda_3 \theta_3 < 0,1$, тогда

$$\mu_3 \cong \frac{2}{\lambda_3 \theta_3^2}.$$

Для случая, когда $\lambda_1 \ll \mu_1$; $\lambda_2 \ll \mu_2$; $\lambda_3 \ll \mu_3$ и $\mu_2 \ll \mu_1$; $\mu_3 \ll \mu_1$, по формуле (1), системе алгебраических уравнений (2), формуле (3) находим

$$H \cong \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3^2 \theta_3^2}{2\mu_2}. \quad (4)$$

Пример. Для электрифицированного помещения, в котором эксплуатируется сеть 0,38/0,22 кВ, заданы следующие величины:

$$\lambda_1 = 5,29 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}; \lambda_2 = 7,9 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}; \lambda_3 = 2,28 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}; \mu_2 = 5,37 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}; \theta_3 = 8760 \text{ ч}.$$

Необходимо оценить риск возникновения пожаров в этом помещении при его эксплуатации. Сравнить полученное значение H с нормируемым $H_0 \leq 1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ ($H_0 \leq 1,14 \cdot 10^{-10} \text{ ч}^{-1}$).

Решение. Используя исходные данные примера и формулу (4), находим

$$H = 2,02 \cdot 10^{-8} \text{ ч}^{-1}.$$

Ввиду того что $H > H_0$, пожарная безопасность в этом помещении не обеспечена.

Для обеспечения пожарной безопасности данного объекта необходимо, например, уменьшить время между диагностическими проверками автоматических средств защиты, тем самым сократив время нахождения защиты сети в необнаруженном отказавшем состоянии. Допустим, мы будем контролировать автоматическую систему отключения вводного автоматического выключателя не один раз в год, а один раз в месяц $\theta = 730$, тогда по формуле (4) найдем

$$H = 1,08 \cdot 10^{-10} \text{ ч}^{-1}.$$

Сравнение полученного результата с нормируемым значением $H_1 < H_0$ показывает, что в этом случае пожаробезопасность помещения будет соответствовать действующим нормативным документам.

Направления дальнейших исследований. Необходимо продолжить работы в области изучения условий, при которых происходит пожароопасное нагревание силовых контактных соединений [6], разработать более совершенные средства защиты на новой элементной базе или новых принципах работы, которые бы реагировали на ослабленные, искрящиеся, опасно нагретые силовые контактные соединения.

Необходимо экспериментально установить, сколько времени в сети 0,38/0,22 кВ может существовать опасно нагретый силовой контакт. Зафиксировать, через сколько времени он выгорит (отгорит) либо будет причиной появления короткого замыкания в сети, что приведет к отключению токовой защитой автоматического выключателя поврежденного участка сети.

Для более точных расчетов пожаробезопасности помещений следует знать среднее время нахождения силового контактного соединения в пожароопасном состоянии.

Выводы.

1. На основе однородных марковских процессов с дискретным числом состояний и непрерывным временем предложена методика оценки пожаробезопасности помещений, в которых эксплуатируются сети 0,38/0,22 кВ, учитывающая время нахождения горючего материала на поверхности контактного соединения.

2. На конкретном примере показано, каким образом только за счет организационных мероприятий (выбор сроков диагностики средств защиты) возможно обеспечить пожарную безопасность электрифицированных помещений.

Список литературы / References

1. Kobes, M., Groenewegen, K. Consumer fire safety: European statistics and potential fire safety measures. Netherlands institute for safety NIBRA, 2009. URL: <https://www.europeanfiresafetyalliance.org/wp-content/uploads/2017/04/28.pdf> (дата обращения: 06.02.2024).

2. Бершадский, И. А. Анализ статистики пожаров по электротехническим причинам и состояния устройств защиты в сетях 0,4 кВ / И. А. Бершадский, А. В. Згарбул // Пожарная безопасность. – 2017. – № 4. – С. 119 – 125.

Bershadskiy, I. A., Zgarbul, A. V. *Analiz statistiki pozharov po elektrotekhnicheskim prichinam i sostoyaniya ustroystv zashchity v setyakh 0,4 kV* [Analysis of fire statistics caused by electrical and technical reasons and the state of protection devices in the 0.4 kV networks]. *Pozharnaya bezopasnost*, 2017, no. 4, pp. 119-125. (In Russian)

3. Ковалев, А. П. Об оценке взрывобезопасности квартир, эксплуатирующих бытовой газ / А. П. Ковалев, И. И. Лехтман, В. П. Вьюнов // Збірник наукових праць. – 2009. – Вип. 9(158). – С. 127 – 134.

Kovalyov A. P., Lekhtman, I. I., Vyunov, V. P. *Ob otsenke vzryvobezopasnosti kvartir, ekspluatiruyushchikh bytovoy gaz* [On the assessment of explosion safety of apartments operating household gas system]. *Zbirnyk naukovykh prats*, 2009, issue 9(158), pp. 127-134. (In Russian)

4. Белоусенко, И. В. Влияние надежности оборудования газораспределительных пунктов на взрывобезопасность газифицированных объектов / И. В. Белоусенко, А. П. Ковалев, И. И. Лехтман // Промышленная энергетика. – 2011. – № 11. – С. 48 – 54.

Belousenko, I. V., Kovalyov, A. P., Lekhtman, I. I. *Vliyanie nadyozhnosti oborudovaniya gazoraspredeletelnykh punktov na vzryvobezopasnost gazifitsirovannykh obyektov* [Effect of gas distribution points equipment reliability on explosion safety of gasified objects] *Promyshlennaya energetika*, 2011, no. 11, pp. 48-54. (In Russian)

5. Ковалев, А. П. Вероятность взрывов метановоздушной смеси при эксплуатации электрооборудования в шахтах / А. П. Ковалев, И. И. Москвина // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2018. – № 2 (55). – С. 64 – 73.

Kovalyov, A. P., Moskvina, I. I. *Veroyatnost vzryvov metanovozdushnoy smesi pri ekspluatatsii elektrooborudovaniya v shakhtakh* [The probability of methane-air mixture explosions during operating electrical equipment in mines]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator"*, 2018, no. 2(55), pp. 64-73. (In Russian)

6. Гуржий, В. В. Признаки больших переходных сопротивлений в контактных соединениях / В. В. Гуржий, Е. О. Зинченко // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2018. – № 2 (55). – С. 74 – 79.

Gurzhiy, V. V., Zinchenko, Ye. O. *Priznaki bolshikh perekhodnykh soprotivleniy v kontaktnykh soedineniyakh* [Marks of high transient resistances in contact connections]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator"*, 2018, no. 2(55), pp. 74-79. (In Russian)

7. Ковалев, А. П. Оценка живучести двухтрансформаторной подстанции, которая снабжает электроэнергией промышленное предприятие / А. П. Ковалев, И. И. Москвина, В. Ю. Переясловский // Промышленная энергетика. – 2017. – № 11. – С. 11 – 15.

Kovalyov, A. P., Moskvina, I. I., Pereyaslovskiy, V. Yu. *Otsenka zhivuchesti dvukhtransformatornoy podstantsii, kotoraya snabzhaet elektroenergiyu promyshlennoye predpriyatie* [Assessment of the survivability of a two-transformer substation that supplies electricity to an industrial enterprise]. *Promyshlennaya energetika*, 2017, no. 11, pp. 11-15. (In Russian)

8. Новиков, Е. Н. Об оценке эффективности быстродействующей аппаратуры газовой защиты / Е. Н. Новиков // Научные работы ДонНТУ. – 2013. – № 1(24). – С. 39 – 44.

Novikov, Ye. N. *Ob otsenke effektivnosti bystrodeystvuyushchey apparatury gazovoy zashchity* [On assessing the effectiveness of high-speed gas protection equipment]. *Nauchnye raboty DonNTU*, 2013, no. 1(24), pp. 39-44. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 20.02.2023
Дата опубликования 19.03.2024

Aleksandr Petrovich Kovalyov, Dr. Sci. (Tech.), professor, scientific associate;

e-mail: saponenko60@mail.ru

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

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-79-07

Ilya Adolfovich Bershadskiy, Dr. Sci. (Tech.), assistant professor, head of chair; e-mail: ibersh164@yandex.ru;

Anatoliy Dmitrievich Mykh, post-graduate student; e-mail: vip.myh@mail.ru;

Andrey Viktorovich Zgarbul, Cand. Sci. (Tech.), assistant professor; e-mail: zgarbul.andrey@gmail.com

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Donetsk national technical university"
283001, Donetsk, 58, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (949) 414-28-12

RISK ASSESSMENT OF FIRE OCCURRENCE DURING EXPLOITATION OF ELECTRIFIED PREMISES

Objective. To develop a technique for fire hazard assessment during exploitation of electrified premises in order to cut the risks of fire break-outs.

Methods. Theoretical studies were conducted applying the mathematical apparatus of consistent Markov processes with discreet numbers of state and continuous time.

Results. The relationship of fire occurrences in premises with 0.38/0.22 kV operating networks has been established in case of existing weak and critically heated high-power contact connection. The example of computation of fire safety parameters for an electrified room has been presented.

Scientific novelty. The established analytical relation shows contrast by factoring in the frequency of transpiring critically heated high-power contact connection (electric socket with inserted plug in it) and the duration of contact between the flammable material and its surface, the reliability of the 0.38/0.22 kV network protection and the diagnostics timeframe.

Practical value. The proposed technique of assessing the fire safety of electrified premises with operating 0.38/0.22 kV networks allowed for the main factors effecting the fire risk to be determined.

Keywords: risk; fire safety; system of electric power supply; load node; electrified premises; means of protection.

Citation. Kovalyov A. P., Bershadskiy I. A., Mykh A. D., Zgarbul A. V. Risk assessment of fire occurrence during exploitation of electrified premises. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 1(61), pp. 29–37. EDN GMHQFB.

УДК [622.822.24:536.244]:001.891.572

*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 ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТ ПРИ ПОЖАРАХ

Цель. Исследование теплообменных процессов в горных выработках шахт при экзогенных пожарах и установление зависимостей распределения относительных температур перед и за очагом пожара по всей длине аварийной горной выработки для прогноза температурной обстановки в шахтах.

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

Результаты. Разработана математическая модель процесса теплопереноса в аварийных участках шахт, позволяющая получать численным методом достоверные данные о распространении пожарных газов в горных выработках.

Научная новизна. Установлены аналитические зависимости распределения температуры пожарных газов, позволяющие определять характер и кинетику их распространения по длине горной выработки аварийного участка шахты с учетом условий проветривания, геометрических размеров выработки, коэффициентов теплопереноса и наличия источников тепловыделения в условиях экзогенного пожара. Это позволило дополнить применяемые методы прогноза температурной обстановки в горных выработках шахт при пожарах.

Практическая значимость. Предложенный метод прогнозирования теплообменных процессов позволяет определять скорость повышения температуры в горных выработках шахт при возникновении очага пожара и может быть использован при разработке нормативных и методических документов для дальнейшего использования горноспасательными подразделениями при ведении аварийно-спасательных работ в шахтах.

Ключевые слова: угольная шахта; аварийный участок; горная выработка; экзогенный пожар; теплообменные процессы; температура пожарных газов; математическое моделирование; экспериментальные исследования.

Для цитирования: Агарков Ал. В. Исследование теплообменных процессов в горных выработках шахт при пожарах // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 1(61). – С. 38–47. EDN AOHXUI.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Эффективная работа угольной отрасли – одна из ключевых ветвей развития экономики и обеспечения энергетической безопасности Российской Федерации [1]. Однако значительным препятствием на пути к достижению высоких показателей угледобычи, несмотря на принимаемые ежегодно меры по совершенствованию промышленной безопасности, становятся подземные пожары экзогенного и эндогенного характера, при ликвидации которых появляются условия, опасные для жизни и здоровья горноспасателей [2]. Соответственно, угольная отрасль 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.

В настоящее время для обеспечения безопасности применяют дистанционный контроль шахтной среды с целью получения данных о газовой обстановке, а именно – о содержании горючих и взрывоопасных газов в аварийных участках (горных выработках) [3 – 5]. Однако применяемый способ и технические средства не позволяют прогнозировать теплообменные процессы и давать им оценку по длине горных выработок аварийных участков шахт при пожарах, а используются исключительно для контроля газовой среды.

Анализ последних исследований и публикаций. Теоретическим и экспериментальным исследованиям газовой динамики в шахтах при экзогенных 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. В. Мамаева, 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. К. З. Ушаков в работе [7] изложил обобщенные результаты многочисленных экспериментальных и теоретических исследований в области газовой динамики шахт, рассмотрел газодинамические характеристики вентиляционных потоков, процессы переноса газов в горных выработках.

В работе [8] 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 газовой выделении при авариях.

Анализ проведенных разными авторами теоретических исследований позволил установить, что предлагаемые ранее методы прогнозирования теплообменных процессов в горных выработках шахт при пожарах [3–8] не позволяют в полном объеме оценить распределение относительных температур перед и за очагом пожара и, соответственно, прогнозировать распределение температуры пожарных газов по всей длине аварийной горной выработки с учетом ее геометрических размеров, условий проветривания, коэффициентов теплопереноса в условиях пожара и других параметров.

Соответственно, актуальное научное направление и **цель статьи** – исследование теплообменных процессов в горных выработках шахт при экзогенных пожарах и установление зависимостей распределения относительных температур перед и за очагом пожара по всей длине аварийной горной выработки для прогноза температурной обстановки в шахтах.

Результаты исследований. Рассматривая квазистационарный режим горения, когда можно пренебречь изменениями во времени, и изучить, как распределяется средняя по сечению горной выработки температура не только в очаге пожара, но и за ее пределами, используем уравнение, аналогичное уравнению нестационарной конвективной диффузии газов из работы [9], в виде

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right), \quad (1)$$

где C – концентрация газа, кг/м³;

τ – время с момента начала отсчета, с;

u, v, w – проекции скорости воздуха на оси координат, м/с;

x, y, z – продольная, вертикальная и поперечная координаты в горной выработке, м;

D_x, D_y, D_z – коэффициенты турбулентной диффузии газов в направлении соответствующих координат, м²/с.

Согласно работе [9] уравнение (1) при стационарном переносе тепла в выработке примет вид

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(a \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(a \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q, \quad (2)$$

где T – температура в горной выработке, К;

a – коэффициент температуропроводности, м²/с;

q – плотность источника выделения тепла, К/с.

Рассмотрим случай пожара с одним направлением движения и представим уравнение (2) в следующем виде

$$u \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\alpha \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\alpha \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q, \quad (3)$$

где α – удельный коэффициент теплообмена со стенками горной выработки, с⁻¹.

Представим в конечных разностях производные в правой части и приведем уравнение (3) к виду

$$u \frac{dT}{dx} = \frac{d}{dx} \left(a \frac{dT}{dx} \right) + \alpha(T_0 - T) + q, \quad (4)$$

где T_0 – температура при нормальных условиях, К.

Здесь источник тепловыделения задан только в зоне горения и зависит от пространственной координаты x

$$q(x) = q_0, \text{ если } x_1 < x < x_2,$$

где q_0 – количество теплоты при цепных реакциях горения, Вт/м³;

x_1 и x_2 – начало и конец зоны горения, м.

За пределами зоны горения источник тепловыделения равен нулю.

Примем в уравнении (4) коэффициент теплопроводности $a = \text{const}$ и получим уравнение

$$u \frac{dT}{dx} = a \frac{d^2T}{dx^2} + \alpha(T_0 - T) + q. \quad (5)$$

Характеристическое уравнение для поиска показателей степени у экспонент, эквивалентное уравнению (5) без источника, представим в виде

$$m^2 - \frac{\tilde{u}}{a} m - \frac{\bar{a}}{a} = 0,$$

где m – номер узла по пространственной координате x [10];

$\tilde{u}$ – средняя скорость воздушного потока, м/с.

Корни равны

$$m_{1,2} = \frac{u_0}{2a} \pm \sqrt{\left(\frac{u_0}{2a}\right)^2 + \frac{\bar{a}}{a}} = 0.$$

где u_0 – начальная скорость, м/с;

$\bar{a}$ – коэффициент теплообмена со стенками горной выработки, с⁻¹.

Таким образом, решение уравнения (5) за пределами зоны горения будет иметь вид

$$T(x) = T_0 + A_1 \exp(m_1 x) + A_2 \exp(m_2 x),$$

где A_1 и A_2 – константы интегрирования.

Так как температура по всей длине зоны горения принята одинаковой, то $A_1 = A_2 = T_1$. Здесь T_1 – температура в зоне горения.

Примем начало отсчета в начале зоны горения. Поскольку при $x \rightarrow \infty$ температура стремится к температуре окружающего воздуха T_0 , то перед зоной горения, когда $x < 0$, необходимо коэффициент m_1 взять со знаком «плюс» перед корнем.

Тогда средняя по сечению выработки температура перед зоной горения может быть определена при m_1 по формуле

$$T(x) = T_0 + (T_1 - T_0) \exp \left[\left(\frac{\tilde{u}}{2a} + \sqrt{\frac{\tilde{u}^2}{4a^2} + \frac{\bar{a}}{a}} \right) x \right]. \quad (6)$$

За зоной горения необходимо принять коэффициент m_2 . Тогда среднюю по сечению горной выработки температуру за зоной горения определим по формуле

$$T(x) = T_0 + (T_1 - T_0) \exp \left[\left(\frac{\tilde{u}}{2a} - \sqrt{\frac{\tilde{u}^2}{4a^2} + \frac{\bar{a}}{a}} \right) x \right]. \quad (7)$$

Таким образом, задав исходные параметры, можно по формулам (6) и (7) находить распределение температур по всей длине горной выработки с очагом пожара.

Дополняя показатель степени у экспоненты до разности квадратов, преобразуем формулу (7) к виду

$$T(x) = T_0 + (T_1 - T_0) \exp \left[-\frac{\bar{a}x}{\tilde{u}/2 + \sqrt{\tilde{u}^2/4 + \bar{a}a}} \right]. \quad (8)$$

где $\tilde{a}$ – удельный коэффициент теплообмена со стенками горной выработки, $с^{-1}$.

Преимущество полученной формулы в том, что она позволяет осуществлять расчеты при малых значениях коэффициента температуропроводности. Так, полагая, что $a = 0$, вместо формулы (8) получим

$$T(x) = T_0 + (T_1 - T_0) \exp(-\bar{a}x / \tilde{u}).$$

Поскольку наиболее полно исследовано поле температур за очагом пожара, то интерес представляет исследование поля температур перед очагом пожара. Из анализа формул (6) и (7) следует, что если за очагом пожара температура почти не зависит от коэффициента температуропроводности, то перед очагом пожара длина температурного «шлейфа» существенно от него зависит. Так, при удельном коэффициенте температуропроводности, равном нулю, и длина «шлейфа» будет равна нулю.

На рисунке 1 представлено распределение относительных температур воздуха перед и за очагом пожара в горной выработке сечением 4 м^2 при скорости движения воздуха $1,0 \text{ м/с}$.

Расчеты осуществлялись по формулам (6) и (7). Как видно из рисунка 1, температура по потоку на расстоянии 50 м от очага пожара составляет $342 \text{ }^{\circ}\text{C}$, то есть $1/3$ от максимальной температуры.

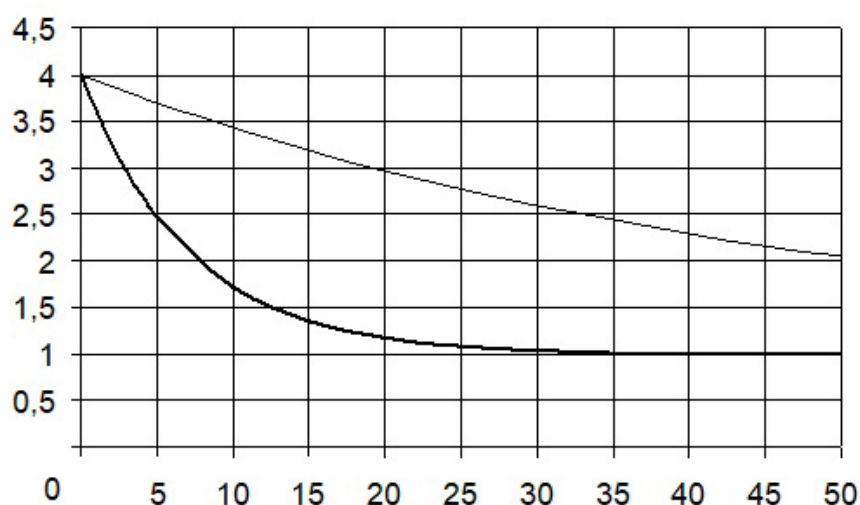


Рис. 1. Распределение относительных температур воздуха в горной выработке шахты:
—— — перед очагом пожара; — — — — за очагом пожара

Длина температурного шлейфа против потока сравнивалась с данными, полученными ранее в работе [6], когда длина шлейфа доходила до 30 м при скорости движения воздуха 1 м/с и коэффициенте температуропроводности $a = 4 \text{ м}^2/\text{с}$ за счет лучистого теплообмена. В этом месте средняя по сечению температура, согласно данным расчета, достигает 40°C при нормальной температуре, равной 26°C . Об этом говорят и другие данные в работе [6], когда при скорости 0,6 м/с в экспериментальной штольне сечением 4 м^2 дым и температура были такими, что пришлось эвакуировать людей из штольни. Это касается только средней по сечению выработки температуры. Сам же шлейф газов во встречном потоке газов под кровлей должен иметь еще большую температуру.

Для определения достоверности результатов теоретических исследований использованы экспериментальные данные, полученные при изучении динамики развития экзогенного пожара в подземных условиях штольни С. Н. Осиповым, В. М. Жаданом и другими. Штольня представляет собой проветриваемую горизонтальную выработку длиной 181 м и сечением $4,2 \text{ м}^2$, с наклонным выходом на поверхность и диффузором, вентиляторной установкой и помещением для измерительной аппаратуры.

При проведении экспериментальных исследований в штольне устанавливали деревянные неполные крепежные рамы (состоящие из верхняка и двух стоек), боковые стенки и кровлю выработки затягивали обаполами. Для возгорания крепи поджигали сложенные в начале выработки костры. Температура пожарных газов изменялась с течением времени, ее определяли по показаниям термопар, установленных в 23 замерных станциях по длине штольни с шагом установки 5...10 м, а также по высоте штольни в трех точках (у кровли, почвы и в центре выработки).

Результаты экспериментальных исследований были обработаны в программе Microsoft Excel и установлены зависимости распределения температуры пожарных газов, которые позволяют определять характер и кинетику их распространения по горной выработке аварийного участка. Выполнено сравнение результатов измерений средней температуры в выработке при наличии очага пожара с результатами теоретического расчета. Расчет кинетики теплопереноса проверен решением уравнения температуропроводности.

Для удобства сравнения результаты экспериментальных исследований (зависимости) и результаты расчета (маркеры ●, ▲, ■) представлены в виде профилей распределения температуры пожарных газов по длине выработки на рисунке 2.

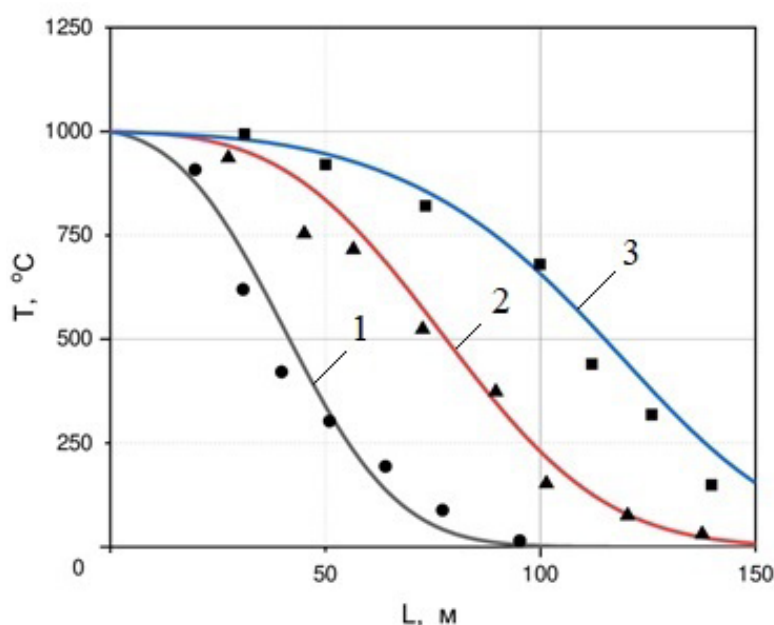


Рис. 2. Динамика температуры пожарных газов по длине выработки с момента возгорания:

1 – через 1 ч; 2 – через 2 ч; 3 – через 3 ч

Полученные расчетным методом результаты аналогичны экспериментальным данным распределения температуры пожарных газов по длине штольни. Сравнение данных показало, что максимальная относительная погрешность не превышает 14 %.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Статистический анализ аварийности на угольных шахтах позволил установить, что при ликвидации пожаров (45 % подземных аварий) возникают условия, опасные для жизни и здоровья горноспасателей.

Установлены зависимости распределения относительных температур перед и за очагом пожара в аварийной горной выработке угольной шахты, которые позволяют прогнозировать распределение температур газов по всей длине выработки при экзогенном пожаре.

Достоверность проведенных исследований подтверждена корректностью поставленных задач, обоснованностью принятых допущений, адекватностью разработанных математических моделей, соответствием полученных зависимостей физическим законам и установившимся представлениям о процессах теплопереноса в ограниченном пространстве, обработкой результатов исследований методами математической статистики.

Перспективное направление научных работ – исследование нестационарного распределения температуры и концентраций пожарных газов в трехмерном виде по длине и сечению горных выработок угольных шахт при экзогенных пожарах с учетом поглощения и осаждения пожарных газов на стенках. Исследования тепло- и массообменных процессов должны учитывать тупиковые выработки и выемочные участки, в том числе выработанные пространства, результаты экспериментальных исследований в условиях шахт с учетом достижений различных научных школ горноспасательного дела Донбасса, Кузбасса и других горнопромышленных агломераций.

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. *Osnovnyye tendentsii i perspektivy razvitiya ugolnoy promyshlennosti Rossii* [Main trends and prospects of coal industry development in Russia]. *Ugol*, 2017, no. 8, pp. 10-14. (In Russian)

2. Федоренко, Е. И. Проблема подземных пожаров и их тушение на больших глубинах в угольных шахтах / Е. И. Федоренко, С. С. Кобылкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 8. – С. 197 – 207.

Fedorenko, Ye. I., Kobylkin, S. S. *Problema podzemnykh pozharov i ikh tushenie na bolshikh glubinakh v ugolnykh shakhtakh* [Problem of underground fires and fire extinguishing at the deep depth of coal mines]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2011, no. 8, pp. 197-207. (In Russian)

3. 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 for atmosphere monitoring of local objects (SMALO) intended for mine-rescuers to control the gas levels under emergency conditions in mines]. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti*, 2013, no. 1.2, pp. 69-72. (In Russian)

4. 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: 08.02.2024).

5. 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 ученой степени доктора технических наук / Медведев Валерий Николаевич. – Макеевка, 2013. – 330 с. – Место защиты: МакНИИ.

Medvedev, V. N. Razvitie nauchnykh osnov i sovershenstvovanie praktiki monitoringa sodержaniya metana v rudnichnoy atmosfere : dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk [Development of scientific principles and improvement of practice of methane content monitoring in mine atmosphere : 05.26.01 “Labour safety (technical sciences)” specialty : Doctor of Technical Sciences dissertation / Medvedev Valeriy Nikolayevich]. Makeyevka, 2013, 330 p. Place of thesis defence : MakNII. (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 ученой степени кандидата технических наук / Агарков Александр Владиславович. – Донецк, 2022. – 184 с. – Место защиты: ГБУ НИИ «Респиратор».

Agarkov, A. V. Povyshenie effektivnosti distantsionnogo kontrolya gazovoy obstanovki pri vedenii avariynno-spasatelnykh rabot v shakhtakh : dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Improvement of effectiveness of remote monitoring of gas levels during conduction of emergency-rescue operations in mines : 05.26.03 “Fire and Industrial Safety (technical sciences)” specialty : Candidate of Technical Sciences dissertation / Agarkov Aleksandr Vladislavovich]. Donetsk, 2022, 184 p. Place of thesis defence : GBU NII “Respirator”. (In Russian)

7. 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 mines. The 2nd edition, revised and supplemented]. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy gornyy universitet Press, 2004, 481 p. (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 // ВiТР (Польша). – Vol. 44, issue 4. – 2016. – Рр. 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 case of fires in various facilities]. *BiTP* (Poland), vol. 44, issue 4, 2016, pp. 83-88. (In Russian)

9. Пузач, С. В. Математическое моделирование газодинамики и тепломассообмена при решении задач пожаровзрывобезопасности : монография / С. В. Пузач. – Москва : Академия ГПС МЧС России. – 2002. – 149 с.

Puzach, S. V. *Matematicheskoe modelirovanie gazodinamiki i teplomassoobmena pri reshenii zadach pozharovzryvobezopasnosti : monografiya* [Mathematical modeling of gas dynamics and heat and mass transfer in solution of fire and explosion safety problems : monograph]. Moscow, Akademiya GPS MChS Rossii Press, 2002, 149 p. (In Russian)

10. Агарков, А. В. Прогноз газовой обстановки вдоль горных выработок при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах / А. В. Агарков // Вестник Академии гражданской защиты. – Донецк, 2020. – № 3(23). – С. 48 – 56.

Agarkov, A. V. *Prognoz gazovoy obstanovki vdol gornykh vyrabotok pri vedenii avariyno-spasatelnykh rabot v ugolnykh shakhtakh* [Prediction of gas levels along the length of mine workings during conduction of emergency-rescue operations in coal mines]. *Vestnik Akademii grazhdanskoy zashchity*, Donetsk, 2020, no. 3(23), pp. 48-56. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 20.02.2024
Дата опубликования 19.03.2024

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

e-mail: aleksander_agarkov@mail.ru

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

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

STUDY ON HEAT TRANSFER PROCESSES IN MINE WORKINGS IN CASE OF SPONTANEOUS FIRES

Objective. Study on heat transfer processes in mine workings in case of spontaneous fires and establishment of the regularities of the relative temperatures distribution in front of a seat of fire and behind it along the emergency mine working length in order to predict the temperature condition in mines.

Methods. There has been applied the integrated method of investigation consisted of scientific and technical analysis of literature sources and the theoretical studies. The mathematical modeling has been fulfilled with application of the fundamental heat transfer laws, the differential equations theory and numeric methods of their solution, the mathematical statistics methods for processing the investigation results. The study results have been processed applying the Microsoft Office software.

Results. The mathematical model of heat transfer process in the emergency areas of mines has been designed allowing for reliable data on how fire gases distributed in mine workings to be obtained by the numeric method.

Scientific novelty. The analytical relations of fire gases temperature distribution were established allowing for the character and kinetics of their distribution along the mine working of the emergency mine area to be defined factoring in the ventilation conditions, dimensional size of the mine working, heat transfer coefficients and active heat emission sources in conditions of the spontaneous fire. It facilitated the additions to be made into the existed methods of temperature condition prediction in mine working in case of a fire.

Practical value. The proposed method of heat transfer processes prediction allows for the temperature elevation rate to be determined in the mine workings in case of a fire occurrence and may be applied into the development of regulatory documents and guidelines for the further use by the mine-rescuers' units conducting the emergency and rescue operations in mines.

Keywords: *coal mine; emergency area; mine working; spontaneous fire; heat transfer processes; fire gases temperature; mathematical modeling; experimental studies.*

Citation. *Agarkov Al. V. Study on heat transfer processes in mine workings in case of spontaneous fires. Nauchnyy vestnik NII "Respirator", 2024, no. 1(61), pp. 38-47. EDN AOHXUI.*

II. Безопасность труда

УДК [622.822.22:622.411.5]:001.891.572

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

ЭНЕРГИЯ АКТИВАЦИИ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Цель. Исследование влияния энергии активации на пожароопасность скопления угольной пыли для повышения пожарной безопасности при ведении горных работ.

Методы. Аналитические исследования изменения химической активности и энергии активации наночастиц угольной пыли различных шахтопластов Донбасса с учетом изменения фракционного состава.

Результаты. Исследования показали, что уменьшение размера фракций угольной пыли до состояния наночастиц влияет на химическую активность угля и энергию активации процесса окисления всех исследуемых шахтопластов и марок угля.

Научная новизна. Установленная зависимость энергии активации от химической активности и критической температуры самовозгорания позволила определить энергию активации процесса окисления наночастиц угольной пыли.

Практическая значимость. Полученные результаты следует учитывать для оценки опасности развития процесса самовозгорания скоплений угольной пыли при ведении горных работ. Установленная зависимость энергии активации от химической активности позволяет повысить пожарную безопасность ведения горных работ.

Ключевые слова: уголь; самовозгорание угля; скопление угольной пыли; энергия активации; фракционный состав.

Для цитирования: Головченко Е. А., Гусар Г. А. Энергия активации процесса окисления наночастиц угольной пыли // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 1(61). – С. 48–55. EDN GWTGCC.

Постановка проблемы. Угольная пыль по сравнению с углем обычного размера обладает более высокой пористостью, что повышает 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.

Особый риск по фактору эндогенной пожароопасности при этом представляют скопления угольной пыли, 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. В работах [1, 2] исследовано влияние химической активности угольной пыли на процесс самонагрева при размерах исследуемых частиц 1...3 мм при статических (теплоизолирующих) условиях проведения эксперимента, что не позволяет достоверно оценить состояние реакционной поверхности угольного вещества. Результаты исследований свидетельствуют о снижении химической активности угля со временем, однако они не отражают действительного значения константы скорости окисления угольной пыли, которая может образовываться при ведении очистных работ.

Для размеров частиц угля 1...5 мм авторы работ [3, 4] провели исследования зависимости энергии активации от химической активности углей и обобщенный сравнительный анализ полученных данных с количеством происшедших эндогенных пожаров на угольных шахтах Донбасса.

В статьях [5, 6] показано, что большая часть угольных пластов образует угольную пыль, константы скорости окисления которой и время инкубационного периода самовозгорания существенно выше, чем у угля.

Исследованиями [6] определено, что существует взаимосвязь химической активности угля, температуры его воспламенения и размером внутренней поверхности частиц.

Цель работы. Исследование влияния энергии активации на пожароопасность скопления угольной пыли для повышения пожарной безопасности при ведении горных работ.

Материалы и результаты исследований. Окисление угля как гетерогенный процесс представляет собой химическое взаимодействие кислорода с реакционной поверхностью, осложненное целым рядом физических явлений, протекающих вблизи внешней поверхности угольной частицы и в ее порах. Известно, что структура угля однородно тонкопористая и содержит молекулярные поры, которые могут быть недоступны для молекул кислорода [1, 4], поэтому скорость процесса, при прочих равных условиях, зависит от величины реагирующей поверхности, которая, в свою очередь, зависит от дробимости угля и фракционного состава.

Энергия активации процесса окисления – основной параметр, характеризующий скорость реакции окисления угля кислородом, чем больше энергия активации, тем медленнее при данной температуре будет проходить реакция окисления [1].

По результатам расчета константы скорости окисления углей при определении склонности их к самовозгоранию [2, 4] можно установить значение энергии активации E , Дж/моль, и предэкспоненциального множителя k_0 , м/с, в интервале температур от начальной T_0 до критической $T_{кр}$ по формулам

$$E = \frac{R(\ln k_{кр} - \ln k_{л})}{\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{кр}}};$$

$$k_0 = k_{л} e^{\frac{E}{RT_0}},$$

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

$k_{кр}$ – константа скорости окисления угля при критической температуре, с⁻¹;

$k_{л}$ – константа скорости окисления угля при начальной температуре лабораторного опыта, с⁻¹;

$T_{кр}$ – критическая температура самовозгорания угля, К;

T_0 – начальная температура окисления, К.

В таблице 1 приведены результаты определения энергии активации и химической активности проб угля, при проведении экспериментальных исследований для установления склонности к самовозгоранию углей шахтопластов Донбасса.

Энергия активации в процессе окисления угля оказывает влияние на эндогенную пожароопасность угольных пластов, поэтому по данным таблицы 1 построим зависимость энергии активации от показателя химической активности (рис. 1).

Используя зависимость критической температуры самовозгорания угля от энергии активации из работы [2]

$$T_{кр} = \frac{E}{2R} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4R}{E} T_0} \right)$$

и данные рисунка 1, получим теоретическую зависимость энергии активации от химической активности и критической температуры самовозгорания

$$E = -T_{кр} R \ln \left(\frac{k_{кр}}{k_0} \right). \quad (1)$$

Таблица 1

Результаты определения энергии активации и химической активности проб угля

Шахта, пласт	Энергия активации, $E \cdot 10^3$, Дж/моль	Показатель химической активности, $\ln(\frac{k_{кр}}{k_0})$
ГУП ДНР «Шахта им. А.Ф. Засядько», m_3	17,681	-5,00
ГУП ДНР «Шахта им. А.Ф. Засядько», l_1	15,837	-9,41
ГУП ДНР «Шахта им. А.А. Скочинского», h_6^1	18,882	-5,25
ГУП ДНР «Шахта «Комсомолец Донбасса», l_3	15,998	-9,41
ООО «Углеком», l_6	17,774	-6,25
ООО «Горняк-95», k_5	18,041	-5,28
ООО «ДМЗ филиал № 2 ш/у «Донбасс» шахта «Щегловская-Глубокая», l_1	17,543	-5,71
ГУП ЛНР «РТК «Востокуголь» ш/у «Краснодонское» шахта им. Н.П. Баракова, k_5	16,127	-8,14
ГУП ЛНР «РТК «Востокуголь» ш/у «Краснодонское» шахта «Молодогвардейская», k_2^H	16,884	-7,11
ГУП ЛНР «РТК «Востокуголь» ш/у «Краснодонское» шахта «Самсоновская-Западная», k_2^H	17,024	-6,84
ГУП ЛНР «РТК «Востокуголь» ш/у «Краснодонское» шахта «Суходольская-Восточная», i_3^1	15,874	-7,48

Примечание: Данные в таблице приведены для размера фракции проб угля 1...3 мм.

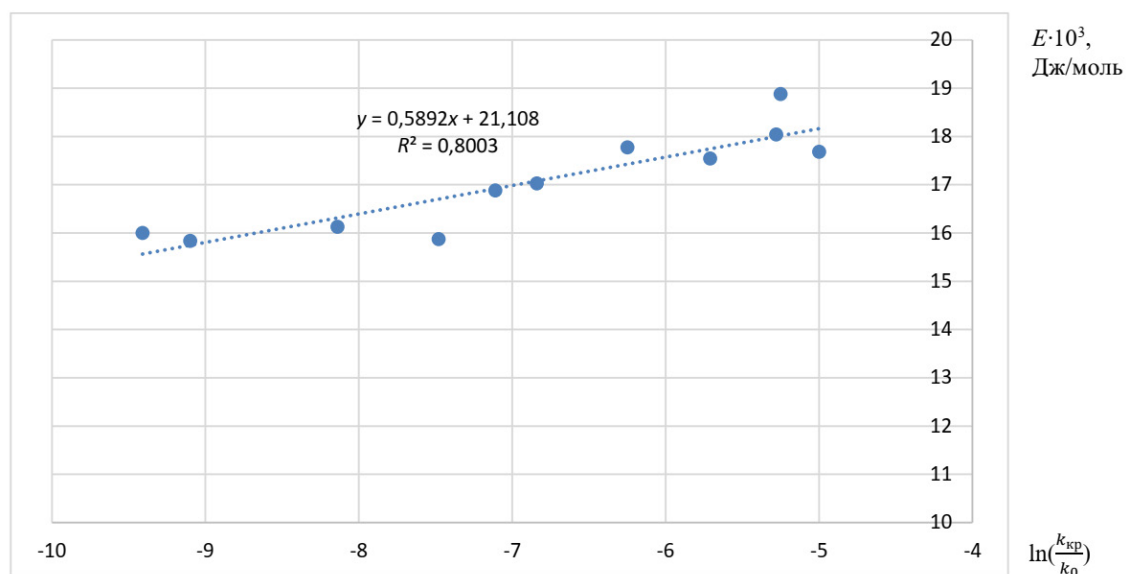


Рис. 1. Номограмма зависимости энергии активации от показателя химической активности

Рассмотрим изменение константы скорости окисления k , $\text{м}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$, в зависимости от размера фракции при различных температурах, согласно исследованиям [4]. На рисунке 2 представлена зависимость константы скорости окисления от фракционного состава угля пласта k_5 ГУП ЛНР «РТК «Востокуголь» ш/у «Краснодонское» «Шахта им. Н.П. Баракова» при температурах 100 °С и 70 °С.

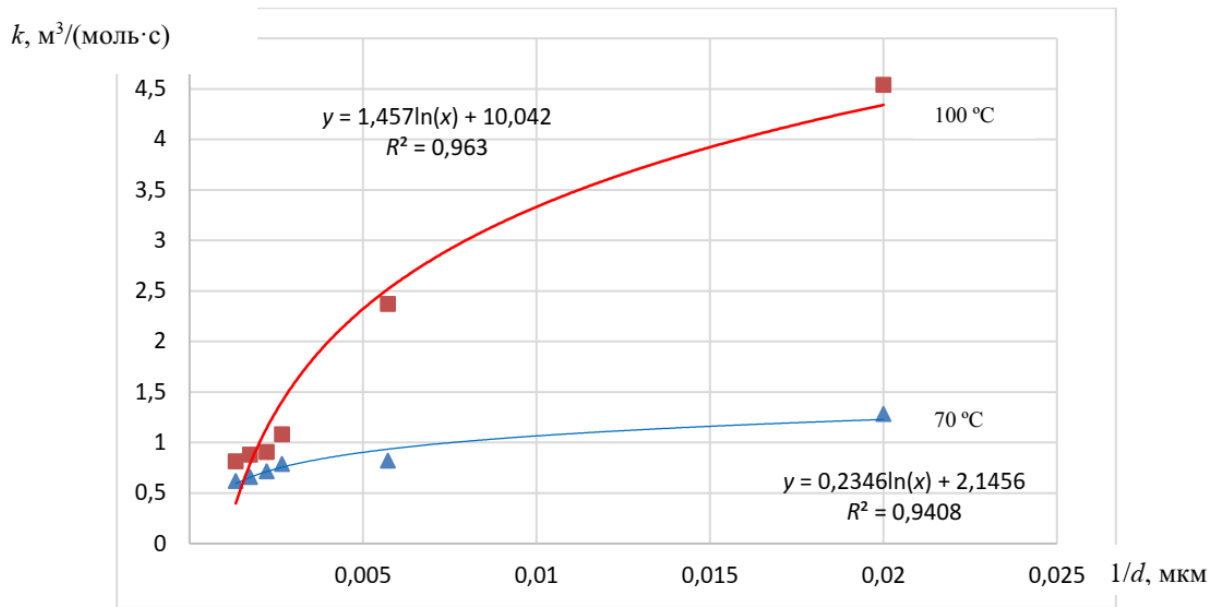


Рис. 2. Зависимость константы скорости окисления от фракционного состава угля при температурах 100 °С и 70 °С

Из данных рисунка 2 следует, что для более крупных фракций константа скорости окисления почти линейно возрастает с уменьшением диаметра фракции, но, начиная с определенного диаметра, наблюдается отклонение линейной зависимости между обратным значением диаметра фракции и константой скорости окисления. Причем с увеличением степени измельчения значение последней стремится к постоянному. Такое явление можно объяснить тем, что зерно угля пронизано порами различной длины, по ним движется кислород и вступает в реакцию взаимодействия с поверхностью этих пор.

Проведенные исследования [4, 6] позволили установить, 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 с размерами частиц 50 мкм существенно выше, чем у пыли с размерами частиц 750 мкм.

Используя зависимость (1) и данные исследований из работы [6], определим энергию активации процесса окисления для наночастиц угольной пыли различных шахтопластов Донбасса с учетом исследуемой фракции угольной пыли (табл. 2).

Таблица 2

Энергия активации шахтопластов Донбасса
в зависимости от исследуемой фракции угольной пыли

Шахта, угольный пласт, марка угля	Энергия активации E , Дж/моль, при размере угольных частиц в пробах d , мкм			
	750	375	175	50
ГУП ЛНР «РТК «Востокуголь» ш/у «Краснодонское» шахта им. Н.П. Баракова, k_5^H , Ж	16 254	16 744	17 554	18 021
ГУП ДНР ДУЭК, шахта им. А.А. Скочинского, h_6^1 , К	18 831	18 997	19 288	19 324
ГУП ЛНР «РТК «Востокуголь» ш/у «Луганское» шахта «Белореченская», l_6 , Г	15 227	15 411	16 011	16 254
ООО «Горняк-95», k_4^1 , ОС	16 230	16 578	16 901	17 002
ГУП ДНР Шахта «Комсомолец Донбасса», l_4 , Т	15 221	15 438	15 784	15 802

Данные таблицы 2 показывают, что значение энергии в исследуемых пробах угольной пыли с размерами частиц 50 мкм выше, чем у пыли с размерами частиц 750 мкм. При этом следует отметить незначительное увеличение энергии активации угольной пыли марки Т.

Выводы. Аналитические исследования влияния энергии активации процесса окисления наночастиц угольной пыли на эндогенную пожароопасность позволили установить теоретическую зависимость энергии активации от химической активности и критической температуры самовозгорания и определить энергии активации шахтопластов Донбасса в зависимости от исследуемой фракции угольной пыли. Установлено, что уменьшение размера фракций угольной пыли до состояния наночастиц влияет на химическую активность угля и энергию активации процесса окисления всех исследуемых шахтопластов и марок угля.

Список литературы / References

1. Пашковский, П. С. Эндогенные пожары в угольных шахтах / П. С. Пашковский. – Донецк : Ноулидж (Донецкое отделение), 2013. – 792 с.
Pashkovskiy, P. S. *Endogennye pozhary v ugolnykh shakhtakh* [Spontaneous fires in coal mines]. Donetsk, Knowledge (Donetsk branch), 2013, 792 p. (In Russian)
2. Агеев, В. Г. Профилактика эндогенной пожароопасности : монография / В. Г. Агеев, П. С. Пашковский, С. П. Греков. – Донецк, 2020. – 592 с.

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

3. Костенко, В. К. Влияние на кинетику окисления угля его фракционного состава и концентрации кислорода / В. К. Костенко, Б. И. Кошовский, Е. Л. Завьялова // Горноспасательное дело : сборник научных трудов. – Донецк : НИИГД, 1999. – С. 104 – 109.

Kostenko, V. K., Koshovskiy, B. I., Zavyalova, Ye. L. *Vliyanie na kinetiku okisleniya uglya yego fraktsionnogo sostava i kontsentratsii kisloroda* [Effect of the fractional size and oxygen concentration on coal oxidation kinetics]. *Gornospasatelnoe delo* : collection of scientific papers, Donetsk, NIIGD Publ., 1999, pp. 104-109. (In Russian)

4. Головченко, Е. А. Обоснование параметров процесса самонагрева угля в краевой части угольного массива подготовительных выработок : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)» (технические науки) : диссертация на соискание степени кандидата технических наук / Головченко Евгений Александрович ; ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР». – Донецк, 2022. – 138 с. Место защиты: ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР».

Golovchenko, Ye. A. *Obosnovanie parametrov protsessa samonagrevaniya uglya v kraevoy chasti ugolnogo massiva podgotovitelnykh vyrabotok* [Substantiation of parameters of coal spontaneous combustion process in coal massif selvedge of development workings. 05.26.03 “Fire and industrial safety (technical sciences)” specialty : Candidate of Technical Sciences dissertation / Golovchenko Yevgeny Aleksandrovich, GBU “NII “Respirator” MChS DNR”], Donetsk, 2022, 138 p. Place of thesis defence: GBU “NII “Respirator” MChS DNR”. (In Russian)

5. Результаты исследования кинетических параметров самовозгорания каменноугольной пыли / В. А. Родионов, С. А. Турсенев, И. Л. Скрипник, Ю. Г. Ксенофонтов // Записки Горного института. – 2020. – Т. 246. – С. 617 – 622. DOI: 10.31897/PMI.2020.6.3.

Rodionov, V. A., Tursenev, S. A., Skripnik, I. L., Ksenofontov, Yu. G. *Rezultaty issledovaniya kineticheskikh parametrov samovozgoraniya kamennougolnoy pyli* [Study results of kinetics parameters of hard coal dust spontaneous combustion]. *Zapiski Gornogo instituta*, 2020, vol. 246, pp. 617-622. DOI: 10.31897/PMI.2020.6.3. (In Russian)

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

Labinskiy, K. N., Golovchenko, Ye. A., Mamayev, V. V., Kalyakin, S. A. *Zavisimost temperatury samovosplamneniya ugolnogo aerolya ot khimicheskoy*

aktivnosti poverkhnosti pyli [Dependence of coal aerosol spontaneous combustion temperature on chemical activity of dust surface]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2023, no. 4(60), pp. 7-16. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. Г. Агеевым

Дата поступления рукописи 06.02.2024

Дата опубликования 19.03.2024

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

Gennady Anatolyevich Gusar, Cand. Sci. (Tech.), assistant 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

ACTIVATION ENERGY OF COAL DUST NANOPARTICLES OXIDATION PROCESS

Objective. Study on how activation energy effects fire hazard of coal dust accumulation in order to improve fire safety of mining works conduction.

Methods. Analytical studies on shifts in the chemical activity and activation energy of coal dust nanoparticles in various coal seams of the Donets basin factoring in the changes in the fractional size.

Results. The studies showed that when the coal dust fractions size reduces down to the nanoparticle state it affects the coal chemical activity and oxidation activation energy of all coal seams and coal grades under investigation.

Scientific novelty. The established dependence of the activation energy on the chemical activity and critical temperature of spontaneous combustion allowed for the oxidation activation energy of the coal dust nanoparticles to be determined.

Practical value. The obtained results should be taken into account to assess the hazard of spontaneous combustion development in the coal dust accumulations during maintaining the mining works. The established dependence of activation energy on the chemical activity allows for the fire safety of mining works to be improved.

Keywords: coal; coal spontaneous combustion; coal dust accumulation; activation energy; fractional size.

Citation. Golovchenko Ye. A., Gusar G. A. Activation energy of coal dust nanoparticles oxidation process. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 1(61), pp. 48-55. EDN GWTGCC.

УДК 622.457.36:622.411.33*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*

ПРОВЕТРИВАНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЯХ СИСТЕМ ДЕГАЗАЦИИ

Цель. Разработать алгоритм оценки газовой обстановки и установить параметры эффективного проветривания выемочных участков шахт при аварийных отключениях систем дегазации для обеспечения безопасности шахтеров и горноспасателей.

Методы. Аналитические исследования, включающие анализ научных публикаций, теоретических исследований и данных, полученных эмпирическим путем.

Результаты. На основе проведенных исследований установлена зависимость скорости вентиляционной струи от коэффициента увеличения дополнительного расхода воздуха, площади поперечного сечения горных выработок и сложившейся газовой обстановки на аварийном участке при отключении системы дегазации.

Научная новизна. Разработан системный подход к нормализации газового режима выемочного участка и оценке эффективности проветривания горных выработок при отключении систем дегазации, включающий расчет параметров метановыделения, расхода воздуха и порядок применения имеющихся резервов воздуха в вентиляционной сети шахты.

Практическая значимость. Результаты исследований можно использовать при разработке нормативно-технической документации в области пожарной и промышленной безопасности горных предприятий.

Ключевые слова: шахта; аварийное отключение; система дегазации; метан; проветривание; выемочный участок; резерв воздуха; регулятор расхода воздуха.

Для цитирования: Симонов А. М., Мавроди А. В., Ивахненко А. В. Проветривание горных выработок при аварийных отключениях систем дегазации // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 1(61). – С. 56–64. EDN HACSNB.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Наиболее широко и успешно на шахтах Донбасса применяют дегазацию подрабатываемых сближенных угольных пластов скважинами, пробуренными из вентиляционных выработок с отводом метановоздушной смеси по газопроводу на поверхностные вакуум-насосные станции. В зависимости от схемы проветривания и условий поддержания выработок за лавой данный способ дегазации имеет эффективность 30...80 % [1, 2].

При эксплуатации систем дегазации в угольных шахтах могут происходить нештатные аварийные ситуации, связанные со снижением эффективности их работы или отключением. В результате происходит переходный газодинамический процесс и резко увеличивается газовыделение из выработанного пространства в исходящую вентиляционную струю выемочного участка, что может повлечь человеческие жертвы и значительный материальный ущерб [3].

Анализ последних исследований и публикаций. Опыт ликвидации последствий аварийных отключений на системах дегазации показывает, что основным способом нормализации газовой обстановки в выемочных участках остается сохранение нормального режима проветривания с возможностью подачи дополнительного расхода воздуха. Существенный недостаток данного режима проветривания – неконтролируемый процесс выноса метановоздушной смеси из выработанного пространства с высоким содержанием метана, что осложняет газовую обстановку и возможность ведения аварийно-восстановительных работ [1, 4, 5].

Поэтому расход воздуха на аварийном участке при отключении дегазации можно изменять лишь в определенных пределах, чтобы содержание метана в выемочных участках не превышало 2,0 %.

Также необходимо учитывать, что увеличение расхода воздуха на аварийных участках зачастую ограничено из-за отсутствия резервов на вентиляторах главного проветривания и низкой степени регулирования расхода воздуха в вентиляционных сетях шахт.

Цель исследования – разработать алгоритм оценки газовой обстановки и установить параметры эффективного проветривания выемочных участков шахт при аварийных отключениях систем дегазации для обеспечения безопасности шахтеров и горноспасателей.

Результаты исследований. Резервы воздуха на выемочном участке определяют по количеству дополнительно выделившегося метана $I_{\text{доп}}$, м³/с, концентрация которого фактически зависит от поступающего на выемочный участок воздуха [4]:

$$I_{\text{доп}} = \frac{\bar{Q}_{\text{уч}}(C_{\text{д}} - \bar{C}_{\text{ф}})}{100},$$

где $\bar{Q}_{\text{уч}}$ – средний расход воздуха, поступающий на выемочный участок при нормальной работе системы дегазации, м³/с;

$C_{\text{д}}$ – предельно допустимая объемная доля метана в исходящей вентиляционной струе выемочного участка, %;

$\bar{C}_{\text{ф}}$ – средняя объемная доля метана в исходящей вентиляционной струе выемочного участка при нормальной работе системы дегазации, %.

Тогда средний расход воздуха $\bar{Q}_{\text{уч}}$, поступающий на выемочный участок при нормальной работе системы дегазации, определяем по формуле

$$\bar{Q}_{\text{уч}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} Q_{3i}}{n_i},$$

где Q_{zi} – расход воздуха в момент замера, м³/с;

n_i – число определений замера расхода воздуха.

Средняя объемная доля метана в исходящей вентиляционной струе выемочного участка, составит

$$\bar{C}_\Phi = \frac{\sum_{j=1}^{n_j} C_j}{n_j},$$

где C_j – средняя объемная доля метана в исходящей вентиляционной струе выемочного участка (определяют по «Книге замеров метана»), %;

n_j – число определений среднесуточной объемной доли метана в течение трех месяцев стабильной работы лавы.

Увеличение расхода воздуха на выемочном участке путем изменения сопротивления регулятора расхода воздуха – эффективный способ для нормализации проветривания, особенно в том случае, когда аэродинамическое сопротивление регулятора превышает сопротивление выработки, в которой он установлен. Монтаж регулятора расхода воздуха в ближайшей параллельной горной выработке приводит к увеличению расхода воздуха на выемочном участке до 35 % [4].

Раскрытие регулятора расхода воздуха может уменьшать общее аэродинамическое сопротивление выемочного участка в 4...10 раз [6]. Расход воздуха в исходящей вентиляционной струе выемочного участка увеличится на 40...100 %. Поступление воздуха на выемочный участок в случае изменения сопротивления регулятора расхода воздуха можно определить экспериментально или рассчитав вентиляционную сеть на ПЭВМ. При этом по результатам депрессионной съемки составляют новую модель системы вентиляции шахты или используют действующую. В компьютерную модель вносят изменения аэродинамических сопротивлений ветвей выработок с учетом установленного регулятора расхода воздуха.

В качестве временных регуляторов могут использоваться брезентовые или парашютные перемычки, противопожарные двери, действующие на этих объектах.

Значение аэродинамического сопротивления выработки (ветви) с регулятором расхода воздуха при его открытии $R_{\text{в}}$ определяют по формуле

$$R_{\text{в}} = R_{\text{вр}} - R_{\text{р}} + R_{\text{ок}},$$

где $R_{\text{вр}}$ – аэродинамическое сопротивление выработки с регулятором расхода воздуха, даПа·с²/м⁶;

R_p – аэродинамическое сопротивление регулятора расхода воздуха (определяют по результатам депрессионной съемки), даПа·с²/м⁶;

$R_{ок}$ – аэродинамическое сопротивление проема при открытом регуляторе расхода воздуха (определяют с помощью замеров или в соответствии с табл. 1), даПа·с²/м⁶.

Таблица 1

Аэродинамическое сопротивление проема открытого регулятора расхода воздуха для выработок различного сечения

Площадь поперечного сечения регулятора расхода воздуха, м ²	Аэродинамическое сопротивление открытого регулятора, даПа·с ² /м ⁶ , при поперечном сечении выработки, м ²											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,3	63,7	67,9	71,0	73,4	75,2	76,7	78,0	79,0	80,0	80,7	81,4	82,0
1,5	41,6	54,1	47,6	49,5	51,1	52,3	53,4	54,2	55,0	55,6	55,2	56,7
2,0	19,8	22,2	24,0	25,4	26,5	27,4	28,1	28,7	29,3	29,7	30,1	30,5
3,0	6,0	7,3	8,4	9,2	9,9	10,4	10,9	11,3	11,6	11,9	12,2	12,4
3,8	0,7	1,7	2,6	4,8	5,3	5,7	6,0	6,3	6,6	6,8	7,0	7,2
5,0	–	1,2	1,6	2,0	2,3	2,6	2,8	3,0	3,2	3,3	3,5	3,6

После изменения аэродинамического сопротивления ветви с установленным регулятором расхода воздуха выполняется расчет воздухораспределения.

Полученное значение расхода воздуха $Q_{расч}$, поступающего на участок при открытой двери регулятора, сравнивается с необходимым минимальным расходом воздуха $Q_{мин}$.

Если $Q_{расч} \geq Q_{мин}$ (1,0 %), тогда расчет окончен.

Если $Q_{расч} \leq Q_{мин}$ (2,0 %), то определяют среднюю объемную долю метана $C_{ср}$, %, в исходящей вентиляционной струе выемочного участка по формуле [1, 7]

$$C_{ср} = \frac{100(I_{уч} + \Delta I_d)}{Q_{доп}},$$

где $I_{уч}$ – метановыделение на выемочном участке при нормальной работе системы дегазации, м³/с;

ΔI_d – количество метана, отводимого системой дегазации, м³/с;

$Q_{доп}$ – расход воздуха на выемочном участке после применения мероприятий по его увеличению, м³/с.

Снижение подачи воздуха на второстепенные объекты проветривания (обособленно проветриваемые камеры, поддерживаемые выработки и т.п.) возможно при сверхнормативной их обеспеченности.

Увеличение расхода воздуха оценивают, предварительно рассчитав вентиляционную сеть на ПЭВМ. Это позволит оперативно проанализировать газовую обстановку. При этом лучшую эффективность показывают объекты с максимальной обеспеченностью воздухом, находящиеся в непосредственной близости от аварийного участка.

Первоначальную величину дополнительного сопротивления, принятого в качестве регулятора расхода воздуха, рекомендуется поддерживать в пределах 4,0...5,0 даПа·с²/м⁶ с дальнейшим уточнением.

Для эффективной борьбы с местными и слоевыми скоплениями метана используют специальные аэраторы или турбулизаторы воздуха (табл. 2) [2].

Таблица 2

Характеристика параметров работы аэраторов и турбулизаторов воздуха

Параметр	Аэратор		Турбулизатор			
	«Ветерок»	«Прохлада-ПШ1»	ТПГ-1,5	ТПГ-3	ТПП-1,5	ТПП-3
Расход воздуха, м ³ /с	1,5	1,5	1,5	3,0	1,5	3,0
Длина факела, м, при скорости > 1,0 м/с	13	13	13	25	12	17
Давление, МПа	0,37	0,4	20,0	20,0	0,4	0,4

Турбулизаторы воздуха необходимо использовать в зонах ведения ремонтных и аварийно-спасательных работ, где могут быть сосредоточены источники метановыделения (тупики погашения вентиляционных выработок, сопряжения вентиляционных выработок с лавами, окна в бутовых полосах, изоляторах и т.п.) (рис. 1).

Использование турбулизаторов воздуха для ликвидации местных скоплений метана наиболее эффективно, когда на выемочный участок подается воздух с расходом, обеспечивающим разбавление вредных газов до предельно допустимых концентраций.

Увеличение подачи дополнительного количества воздуха на выемочный участок после отключения системы дегазации может привести к резкому повышению выделения метана в верхней части лавы и на исходящей вентиляционной струе участка [3]. Поэтому для эффективного проветривания аварийного участка необходимо определить максимально допустимый расход воздуха по газовому фактору.

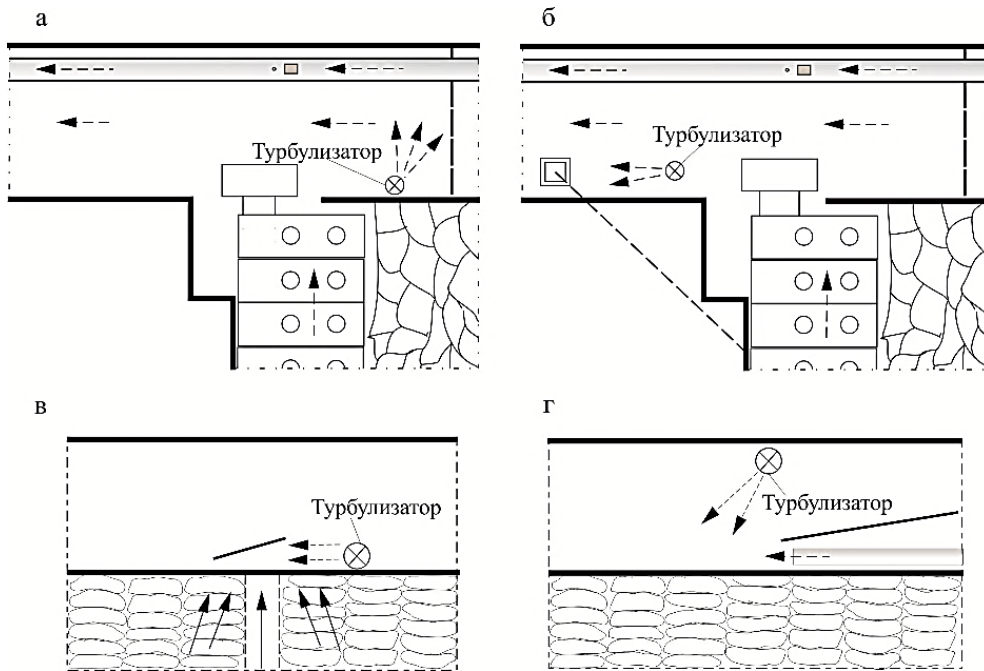


Рис. 1. Основные схемы расположения турбулизаторов воздуха в зонах возможного образования местных скоплений метана:

- а – в тупиках погашения вентиляционных выработок и при сокращении газопровода;
 б – в местах бурения дегазационных скважин; в – в местах интенсивного выноса метана и у окон в бутовых полосах; г – у камер смешивания

После выполнения мероприятий, обеспечивающих подачу дополнительного количества воздуха, определяем коэффициент увеличения расхода воздуха на исходящей вентиляционной струе $k_{\text{рег.уч}}$ по формуле

$$k_{\text{рег.уч}} = \frac{(C_{\text{д}} - C_0) Q_{\text{уч.0}}}{100 I_{\text{отк}}} + 1,$$

где $C_{\text{д}}$ – допустимая объемная доля метана, $C_{\text{д}} = 2,0 \%$;

C_0 – объемная доля метана в поступающей на участок вентиляционной струе воздуха, %;

$Q_{\text{уч.0}}$ – расход воздуха на выемочном участке до отключения дегазации, $\text{м}^3/\text{мин.}$;

$I_{\text{отк}}$ – дополнительное метановыделение в выработки выемочного участка при отключении системы дегазации, $\text{м}^3/\text{с.}$

Анализ проведенных исследований газодинамики шахт Донбасса позволил установить зависимость скорости вентиляционной струи в лаве от площади поперечного сечения и коэффициента увеличения расхода воздуха в лаве $k_{\text{рег.л.}}$.

Задавая значения фактической скорости вентиляционной струи в лаве $v_{\text{л}}$, м/с , и площадь поперечного сечения лавы $S_{\text{л}}$, м^2 , определяем по номограмме

(рис. 2) коэффициент увеличения расхода воздуха в исходящей вентиляционной струе из лавы $k_{\text{рег.л}}$.

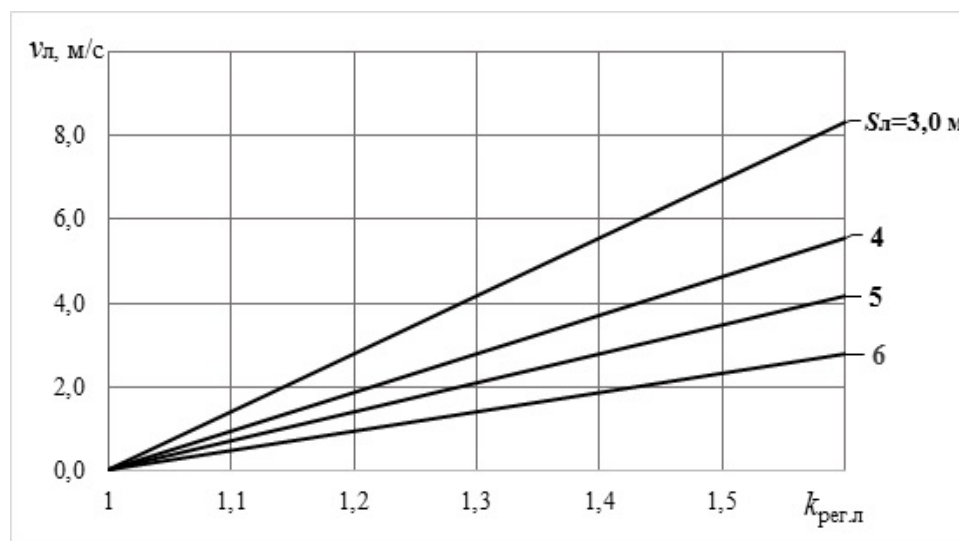


Рис. 2. Зависимость скорости вентиляционной струи в лаве от площади поперечного сечения лавы и коэффициента увеличения расхода воздуха

Из полученных значений $k_{\text{рег.уч}}$ и $k_{\text{рег.л}}$ выбирают наименьшее. Тогда максимально допустимый расход воздуха для безопасного проветривания аварийного участка Q_{max} определим по формуле

$$Q_{\text{max}} = Q_{\text{уч.0}} k_{\text{рег.уч(л)}}.$$

Мероприятия по увеличению расхода воздуха необходимо предусматривать при разработке позиций планов ликвидации аварий, они должны быть заблаговременно апробированы на компьютерной модели вентиляционной сети шахты.

Выводы. На основании проведенных исследований обоснован принцип подачи дополнительного расхода воздуха на выемочный участок из резервных источников вентиляционной сети шахты, что, в свою очередь, способствует созданию безопасной газовой обстановки на аварийном участке при отключении системы дегазации. Установлена зависимость скорости вентиляционной струи от коэффициента увеличения дополнительного расхода воздуха и площади поперечного сечения горных выработок выемочного участка, что позволит обеспечить безопасность шахтеров и горноспасателей.

Список литературы / References

1. Пашковский, П. С. Управление дегазацией на выемочных участках угольной шахты в нормальных и аварийных условиях / П. С. Пашковский,

А. Л. Иванников // Горноспасательное дело : сборник научных трудов. – 2013. – Вып. 50. – С. 16 – 25.

Pashkovskiy, P. S. *Upravlenie degazatsiey na vyemochnykh uchastkakh ugolnoy shakhty v normalnykh i avariynnykh usloviyakh* [Management of gas drainage process at the mine workings areas of coal mine in standard and emergency conditions]. *Gornospasatelnoe delo* : collection of scientific papers, NIIGD “Respirator” Publ., 2013, issue 50, pp. 16-25. (In Russian)

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

Zvyagilskiy, Ye. L., Bokiyy, B. V., Kasimov, O. I., Karnaukh, N. V. *Skhemy i sposoby upravleniya gazovydeleniem na vyemochnykh uchastkakh ugolnykh shakht* [Lay-outs and techniques of gas emission control at the mine workings of the coal mines]. Makeyevka, MakNII Publ., 2006, 78 p. (In Russian)

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

Grekov, S. P., Zinchenko, I. N., Ivannikov, A. L. *Modelirovanie perekhodnykh gazodinamicheskikh protsessov na dobychnykh uchastkakh pri izmeneniyakh rezhimov degazatsii i ventilyatsii* [Simulation of transient gas dynamic processes at the mine workings in case of gas drainage and ventilation modes alterations]. *Vestnik Kharkovskogo natsionalnogo universiteta*, 2011, no. 960, pp. 95-103. (In Russian)

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

Voronov, P. S., Karnaukh, N. V., Mavrodi, A. V. *Intensivnost izmeneniya metanovydeniya na vyemochnykh uchastkakh pri otklyuchenii sistemy degazatsii* [Intensity of methane emission rate change in mine workings in case of gas drainage system shutdown]. *Nauchnyy vestnik NIIGD “Respirator”*, 2017, no. 4(54), pp. 60-69. (In Russian)

5. Гулько, С. Е. Влияние дегазации на метановыделение из сближенных пластов / С. Е. Гулько, А. В. Мавроди // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2021. – № 3(58) – С. 42 – 49.

Gulko, S. Ye., Mavrodi, A. V. *Vliyanie degazatsii na metanovydenie iz sblyzhennykh plastov* [Gas drainage impact on methane emission out of adjacent seams]. *Nauchnyy vestnik NIIGD “Respirator”*, 2021, no. 3(58), pp. 42-49. (In Russian)

6. Мавроди, А. В. Использование резерва воздуха на выемочных участках при отключении систем дегазации / А. В. Мавроди // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2019. – № 3(56). – С. 37 – 46.

Mavrodi, A. V. *Ispolzovanie rezerva vozdukha na vyemochnykh uchastkakh pri otklyuchenii system degazatsii* [Utilization of air reserve in mine workings in case of gas drainage systems shutdown]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator"*, 2019, no. 3(56), pp. 37-46. (In Russian)

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

Medvedev, V. N. *Prognozirovanie znacheniy kontsentratsii metana v rudnichnoy atmosfere pri intensivnykh gazovydeleniyakh v gornye vyrabotki* [Predicting the methane concentration values in mine air under excessive gas emissions into mine workings]. *Sbornik nauchnykh trudov MakNII*, 2007, no. 20, pp. 110-119. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Агеевым
Дата поступления рукописи 01.02.2023
Дата опубликования 19.03.2024

Aleksandr Mikhaylovich 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

MINE WORKINGS VENTILATION IN CONDITIONS OF EMERGENCY GAS DRAINAGE SYSTEMS SHUTDOWN

Objective. To develop an algorithm for assessing the gas levels and to determine parameters of effective ventilation of mine workings under emergency gas drainage systems shutdowns in order to ensure the safety of miners and mine-rescuers.

Methods. Analytical investigations comprised of scientific publications analysis, theoretical studies and empirically obtained data.

Results. Based on the conducted investigations the relationship between a ventilation stream speed and an extra air rate increase, a cross-section area size and current gas levels in the area of the accident in case of the gas drainage system shutdown has been established.

Scientific novelty. The integrated approach to recovery of the mine working acceptable gas levels and assessment of the mine workings ventilation effectiveness under gas drainage systems shutdown has been elaborated including the calculations of the methane emission rate and air flow rate parameters as well as the procedure of the available air reserves application in the mine ventilation network.

Practical value. The results of the investigations may be applied in development of the regulatory technical documentation in the field of mining enterprises fire and industrial safety.

Keywords: mine; emergency shutdown; gas drainage system; methane; ventilation; mine working; air reserve; air flow rate controller.

Citation. Simonov A. M., Mavrodi A. V., Ivakhnenko A. V. Mine workings ventilation in conditions of emergency gas drainage systems shutdown. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 1(61), pp. 56-64. EDN HACSNB.

УДК 622.273

Сергей Владимирович Балов, канд. техн. наук, и.о. директора; e-mail: sergio1965don@mail.ru

Леонид Федорович Трунов, зав. лабораторией; e-mail: donugi2009@mail.ru

Государственное бюджетное учреждение

«Донецкий научно-исследовательский угольный институт»

283048, г. Донецк, ул. Артема, 114. Тел.: +7 (949) 356-97-25

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА КОНЦЕВЫХ УЧАСТКАХ ЛАВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТРУДОЕМКОСТИ

Цель. Разработать технологии, которые должны предусматривать: выемку угля на концевых участках очистными комбайнами, а не вручную; максимальное приближение механизированной крепи лавы к крепи примыкающей выработки, для снижения трудоемкости горных работ.

Методы. Используются практический метод сбора и накопления данных; метод обработки данных; качественный метод изучения и анализа документов; метод оценивания результатов.

Результаты. На основании проведенных исследований разрабатывается технология для механизации ведения горных работ на концевых участках лав.

Научная новизна. Внедрение последних исследований ГБУ «ДОНУГИ» для разработки предложений по повышению устойчивости пород непосредственной кровли на концевых участках лав.

Практическая значимость. Разрабатываемые технологии позволят механизировать ведение горных работ на концевых участках лав, снизить их трудоемкость, повысить безопасность ведения горных работ.

Ключевые слова: исследование; анализ; концевые участки; технологические схемы; механизированные комплексы; трудоемкость; горно-геологический прогноз; паспорт крепления и управления кровлей.

Для цитирования: Балов С. В., Трунов Л. Ф. Исследование условий ведения горных работ на концевых участках лав для снижения трудоемкости // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 1(61). – С. 65–73. EDN IRJRFZ.

Постановка проблемы. В настоящее время в комплексно механизированных лавах основные трудоемкие процессы с использованием ручного труда выполняются на концевых участках лав [1]. Практически на всех выемочных участках на сопряжениях лав с примыкающими выработками производится ручная выемка угля на протяжении 4...8 м и более для оборудования специальных ниш с креплением их индивидуальной крепью. При этом приводные станции конвейеров находятся полностью или частично в лаве, что значительно увеличивает трудоемкость и продолжительность опасных горных работ при передвижке их в нишу, креплении и управлении кровлей над ними.

Цель исследования – разработать технологии, которые должны предусматривать: выемку угля на концевых участках очистными комбайнами, а не вручную; максимальное приближение механизированной крепи лавы к крепи примыкающей выработки, для снижения трудоемкости горных работ.

Материалы и результаты исследований. Основная задача, при решении которой исключается ручной труд и максимально механизуются горные

работы на концевых участках лав, – управление горным давлением с целью повышения устойчивости вмещающих пород, снижения уровня разрушенности пород непосредственной кровли и исключения предпосылок для обрушения пород кровли на сопряжении лавы с примыкающей выработкой.

Для разработки предложений и необходимых технологических решений была проанализирована техническая документация на ведение горных работ на 27 действующих выемочных участках, а также исследована фактическая технология ведения работ по креплению и управлению кровлей на концевых участках и сопряжениях лав 7 шахт ГУП «Макеевуголь» и ГУП «Торезантрацит».

Было установлено, что отработка лав производится в основном прямым ходом по сплошной (18 лав) и комбинированной (4 лавы) системам отработки.

Только 3 лавы на шахте «Комсомолец Донбасса» и 1 лава на шахте «Иловайская» подготовлены на обратный ход; горные работы по очистной выемке угля ведутся по столбовой системе разработки. Отработка запасов угля по пласту m_3 на ООО «Углеком» производится камерным способом.

Из 27 выемочных участков 18 оборудованы механизированными комплексами с крепями КД-80, КД-90, ДМ и угольными комбайнами УКД200/250, 1К101У, РКУ-10.

Транспорт угля по лавам осуществляется скребковыми конвейерами СП250, СП251, СП26У, СПЦ163, СПЦ271.

Согласно проектно-технической документации все горные выработки, примыкающие к лавам, имеют сечение 10...18 м², крепятся металлоарочной крепью или крепью КПС и охраняются в соответствии с отраслевым стандартом [2].

На 8 выемочных участках на сопряжении лавы с конвейерной выработкой проводятся просеки трапецевидной формы, опережающие забой лавы на 2,4...4 м. Просеки крепятся крепью КПС. Все работы проводят согласно ТМП 10.1.00185790.002:2010 «Сопряжения очистных забоев с подготовительными выработками, закрепленными рамной, анкерной и рамно-анкерной крепями. Типовые схемы поддержания».

Приводные станции скребковых конвейеров лав расположены полностью или частично в специальных нишах либо вынесены на примыкающую к лаве выработку (табл. 1).

Согласно [3 – 5] ниши имеют в среднем ширину 4 м и глубину до 3,2 м. В 11 лавах, оборудованных угольными комбайнами 1К101У, и 3 лавах, оборудованных комбайнами «Кировец», проводят угольные ниши шириной 8 м и более.

Горные работы ведут в основном на пологих маломощных пластах мощностью 0,85...1,8 м с углом падения 0...18°.

В непосредственной кровле лав залегают породы средней устойчивости категории B_4 и малоустойчивые категории B_3 , представленные слоями сланца или песчаников с крепостью в пределах $3 \leq f \leq 6$ (табл. 2).

Таблица 1

Расположение приводной станции конвейера лавы

Количество приводных станций конвейеров лавы		Расположение приводной станции конвейера лавы
нижние	верхние	
8	15	100% в нише
9	—	50% в нише и 50% на примыкающей выработке
8	5	100% на примыкающей выработке

Таблица 2

Категории пород непосредственной кровли

Количество лав	Количество сопряжений	Категории пород непосредственной кровли по устойчивости B_i ; расстояние между трещинами B
8	0	B_4 – породы средней устойчивости, представленные слоем прочного сланца или песчаника с крепостью в пределах $5 < f \leq 7$, $B = 0,5–1,0$ м
2	2	B_{4-3} – породы средней устойчивости, приближенные к малоустойчивым, представленные слоем прочных сланцев, песчаника с крепостью в пределах $4 \leq f < 5$, $B = 0,4–0,6$ м
7	1	B_{3-4} – породы малоустойчивые, приближенные к среднеустойчивым с крепостью в пределах $4 < f \leq 5$, $B = 0,35–0,45$ м
10	11	B_3 – малоустойчивые породы, представленные слоем сланцев, песчаников с крепостью в пределах $3 < f \leq 5$, $B = 0,3–0,45$ м
0	13	B_{3-2} – малоустойчивые породы, представленные слоем сланцев, песчаников с крепостью в пределах $3 < f \leq 5$, $B = 0,2–0,4$ м

Основная кровля представлена слоями песчаного сланца, песчаника и известняка с крепостью $4 \leq f \leq 10$ (табл. 3).

В почве залегают устойчивые и малоустойчивые породы категорий P_3 и P_2 , представленные сланцами и песчаниками, при которых нет осложнений при применении средств крепления и управления кровлей.

Осложняющие факторы, которые влияют на изменения структурно-деформационных свойств пород кровли, затрагивают в основном концевые участки лав (табл. 4).

Таблица 3

Категории пород основной кровли

Количество очистных забоев	Категории пород основной кровли по обрушаемости
2	A_3 – труднообрушаемые породы, представленные однородным массивом прочных алевритов, песчаников, известняков с крепостью в пределах $7 \leq f < 10$
18	A_2 – породы средней обрушаемости, представленные массивом чередующихся прочных сланцев, алевритов, песчаников с крепостью в пределах $4 < f < 6$
2	A_{1-2} – породы легкообрушаемые, приближенные к средней обрушаемости с крепостью в пределах $6 \leq f < 7$
5	A_1 – легкообрушаемые породы, представленные массивом чередующихся слоев сланцев, песчаника, аргиллитов с крепостью $f \leq 4$

Таблица 4

Осложняющие факторы

Количество очистных забоев	Зоны опасных проявлений горного давления
2	ЗПО – зона повышенной опасности; характеризуется ухудшением обрушаемости массива и снижением устойчивости нижнего слоя кровли
18	ОЗ – опасная зона; характеризуется снижением устойчивости нижнего слоя кровли. На концевых участках лав крепость пород кровли снижена в среднем на одну единицу в сравнении с крепостью пород в лаве
7	ПЗ – прогнозная зона, где влияние осложняющих факторов носит маловероятный характер, однако при выборе и расчетах параметров крепления и управления кровлей эти факторы необходимо учитывать

Согласно горно-геологическим прогнозным паспортам практически на всех концевых участках механизированных лав категория устойчивости нижнего слоя кровли снижена в среднем на одну единицу по сравнению с устойчивостью вмещающих пород по длине лавы.

После изучения технической документации были фактически обследованы выемочные участки 7 шахт ГУП «Макеевуголь» и ГУП «Торезантрацит», обрабатывающих лавы прямым ходом.

Произведены замеры высот опережающих просеков в четырех точках (в забое, перед приводной станцией конвейера лавы, за приводной станцией

конвейера лавы, перед забоем подготовительной выработки). Результаты замеров обобщены и составлен график смещения и снижения устойчивости пород кровли просека (рис. 1).

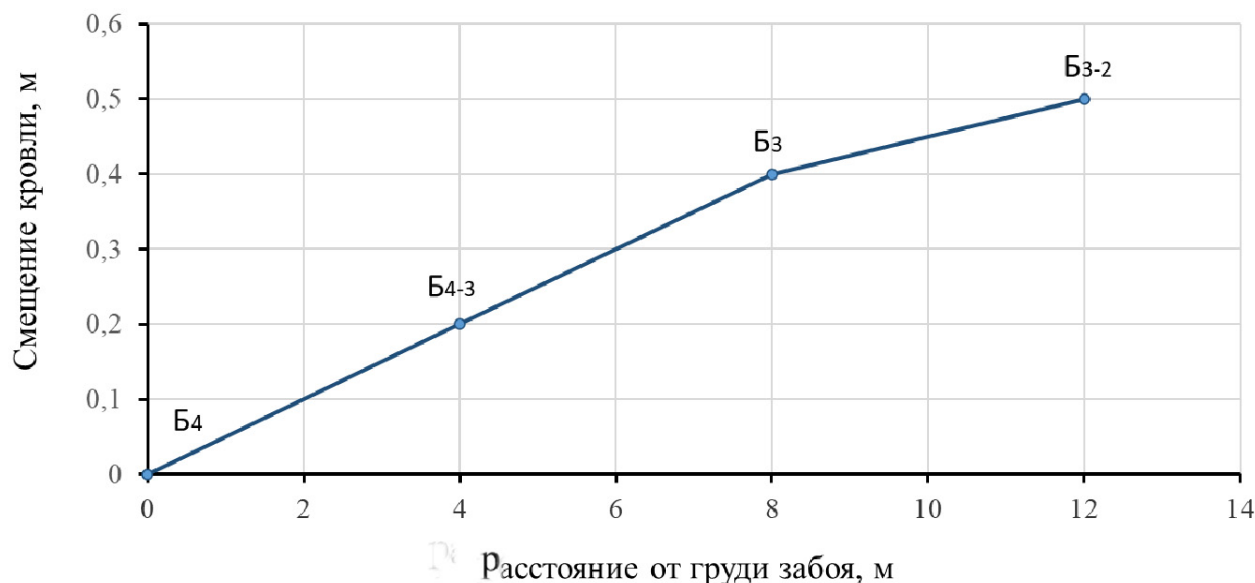


Рис. 1. Смещение и снижение устойчивости пород кровли просека категории B_4 за счет сдвижения и изгиба пород в зоне интенсивного горного давления на концевых участках лав в зависимости от расстояния от груди забоя просека

Изучение фактической технологии горных работ на концевых участках лав показало следующее:

- практически на всех выемочных участках на сопряжениях конвейерных выработок с лавой проводятся опережающие просеки на глубину 2,4...4 м, шириной 2,7...5 м и высотой 1,8...2,3 м. Опережающие просеки закреплены крепью КПС;
- в забое просеков крепь КПС устанавливают без первоначального распора, вследствие чего допускается оставление локальных пустот за верхняком (из-за отсутствия контакта между кровлей и крепью);
- на концевых участках обследуемых лав в зоне повышенного горного давления происходит сдвижение и изгиб пород кровли. Так, в среднем высота просека в забое составляет 1,95 м, а в 10...12 м от забоя — 1,45 м; категория устойчивости нижнего слоя непосредственной кровли снижена в среднем на одну единицу согласно классификации боковых пород ГБУ «ДОНУГИ»; расстояние между трещинами в непосредственной кровле, по сравнению с кровлей в линейной части лавы, меньше на 0,2...0,3 м;

• из-за снижения устойчивости кровли для исключения обрушения пород на всех концевых участках лав производят ручную выемку ниш длиной 4...12 м с креплением их индивидуальной крепью.

Снижение устойчивости непосредственной кровли и увеличение ее трещиноватости на концевых участках для исключения вывалов требуют дополнительных мер с применением ручного труда.

Исследование трудоемкости работ произведено на 3 выемочных участках с различными типами выемочных комбайнов, где на концевых участках лав производится ручная выемка угля и крепление индивидуальной крепью. Совместно с экономическими службами угольных предприятий изучены хронометражные наблюдения, план-отчеты участков и финансовые рапорты. Результаты анализа приведены в таблицах 5 – 7.

Таблица 5

Трудоемкость на 1 цикле добычи горной массы (438 т) в 6-й восточной лаве пласта l_1 с комбайном 1K101У филиала «Шахта “Калиновская-Восточная”»

Наименование процесса	Трудоемкость, чел/смен	%
Выемка и зачистка угля	10	24,7
Работы в нижнем концевом участке	9,2	22,7
Работы в верхнем концевом участке	10,4	25,6
Обслуживание комплекса в ремонтно-подготовительную смену	10,95	27
Ведение горных работ в лаве	40,55	100

Таблица 6

Трудоемкость на 1 цикле добычи горной массы (501 т) в 4-й восточной лаве пласта h_{10} с комбайном УКД200/250 филиала «Шахта “Холодная Балка”»

Наименование процесса	Трудоемкость, чел/смен	%
Выемка и зачистка угля	15,6	33,8
Работы в нижнем концевом участке	10,3	22,3
Работы в верхнем концевом участке	11,1	24
Обслуживание комплекса в ремонтно-подготовительную смену	9,2	19,9
Ведение горных работ в лаве	46,2	100

Таблица 7

Трудоемкость на 1 цикле добычи горной массы во 2 восточной лаве УП ЦБ пласта h_8 с комбайном РКУ-10 филиала «Шахта «Шахтерская-Глубокая»»

Вид работ		Трудоемкость, чел/смен	%
Выемка угля комбайном	—	6,84	24,2
Работы на верхнем концевом участке	верхняя ниша (выемка, крепление)	4,69	16,6
	верхняя часть лавы (крепление, органка, чураковая перемычка)	1,79	6,35
Работы на нижнем концевом участке	нижняя ниша (выемка, крепление)	4,21	14,9
	нижняя часть лавы (крепление, прорывной штрек, органка, чураковая перемычка, бутовая полоса)	3,72	13,2
Прочие работы	ремонтные работы в лаве (обслуживание комплекса)	5,79	20,5
	погрузка угля на пересыпе	1,2	4,25
Ведение горных работ в лаве	—	28,24	100

Из анализа следует, что в среднем при ведении горных работ по выемке угля в лаве 48...50 % трудоемкости всех видов работ (чел/смен) приходится на концевые участки и только 25...30 % трудоемкости (чел/смен) затрачивается на выемку угля в лаве, 20...25 % – на прочие работы (ремонт и т.п.).

Таким образом, снижение трудоемкости работ на концевых участках лав соответственно снижает объем опасных горных работ, увеличивает объем механизированной выемки угля, повышает производительность труда и нагрузку на очистной забой при соблюдении требований безопасности ведения горных работ.

Выводы. Несмотря на наличие современных механизированных комплексов, отсутствие эффективных технологий выемки угля и крепления на концевых участках лав – факторы, которые сдерживают работу очистных забоев и создают опасные условия ведения горных работ. Поэтому разработка технологий, позволяющих механизировать трудоемкие процессы на концевых участках и сопряжениях лав при условии безопасности работ, крайне необходима и перспективна.

Управление горным давлением с целью повышения устойчивости вмещающих пород, снижения уровня разрушенности пород непосредственной кровли и исключения предпосылок для обрушения пород кровли на сопряжении лавы с примыкающей выработкой позволит механизировать технологические процессы на концевых участках.

Решением указанной проблемы может быть применение на сопряжениях лав современных технологий, в том числе с использованием модернизированной крепи КПСМ, разработанной ГБУ «ДОНУГИ» в 2021 г. Крепь КПСМ за счет своих технических характеристик (первоначальный распор при установке не менее 15 кН и повышенная несущая способность) практически не допускает снижения устойчивости непосредственной кровли на линии очистного забоя, что позволит механизировать процессы выемки угля, крепления и управления кровлей.

Проведенные исследования позволят в дальнейшем разработать предложения по механизации технологических процессов на концевых участках и сопряжениях лав, повысить уровень культуры и безопасности ведения горных работ.

Список литературы / References

1. Методические рекомендации «Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35» : утверждены Приказом Министерства угля и энергетики ДНР от 03.05.2023 № 93 / С. В. Балов, Л. Ф. Трунов, Л. Н. Капран, М. Е. Григорюк. – Донецк : ГБУ «ДОНУГИ», 2023. – 151 с.

Balov, S. V., Trunov, L. F., Kapran, L. N., Grigoryuk, M. Ye. *Metodicheskie rekomendatsii "Upravlenie krovley i kreplenie v ochistnykh zaboyakh na ugolnykh plastakh s uglom padeniya do 35" : utverzhdeny Prikazom Ministerstva uglya i energetiki DNR ot 03.05.2023 № 93* [Guidelines "Strata control and timbering in working faces on coal seams with 35 degree of dip" : as amended by decree of the DPR Coal and Energy Ministry of May 3, 2023 no. 93]. Donetsk, GBU "DONUGI" Publ., 2023, 151 p. (In Russian)

2. Методика расчета «Выбор крепления, способов и средств охраны подготовительных выработок на пологих пластах» / С. В. Балов, Л. Ф. Трунов, Л. Н. Капран, В. Н. Болбат. – Донецк : ГБУ «ДОНУГИ», 2021. – 119 с.

Balov, S. V., Trunov, L. F., Kapran, L. N., Bolbat, V. N. *Metodika raschyota "Vybor krepleniya, sposobov i sredstv okhrany podgotovitelnykh vyrobotok na plogikh plastakh"* [Calculation technique "Making a choice of timbering, methods and means of supporting the development workings on flat seams"]. Donetsk, GBU "DONUGI" Publ., 2021, 119 p. (In Russian)

3. Руководящий документ «Расположение, охрана и поддержание горных выработок на угольных шахтах Донецкого бассейна». – Донецк : ГБУ «РАНИМИ», 2021. – 256 с.

Rukovodyashchiy dokument "Raspolozhenie, okhrana i podderzhanie gornyykh vyrobotok na ugolnykh shakhtakh Donetskogo basseyna" [Guidelines "Location, support and maintenance of mine workings in coal mines of the Donets basin"]. Donetsk, GBU "RANIMI" Publ., 2021, 256 p. (In Russian)

4. Инструкция по безопасным методам и приемам выполнения горнорабочими операций по управлению кровлей и креплению в очистных забоях и на концевых участках с индивидуальной крепью и примыкающих к ним подготовительных выработках. – Донецк, 2020. – 79 с.

Instruktsiya po bezopasnym metodam i priemam vypolneniya gornorabochimi operatsiy po upravleniyu krovley i krepleniyu v ochistnykh zaboyakh i na kontsevykh uchastkakh s individualnoy krepyu i primykayushchikh k nim podgotovitelnykh vyrabotkakh [Instruction on methods and techniques for mining workers to safely control the roof and timber in stopes and face end areas using individual supports as well as in adjacent development workings]. Donetsk, 2020, 79 p. (In Russian)

5. Раевский, Д. И. Особенности охраны и поддержания подготовительных выработок в условиях Восточного Донбасса / Д. И. Раевский // Записки горного института. – 2002. – Т. 152. – С. 142 – 144.

Rayevskiy, D. I. *Osobennosti okhrany i podderzhaniya podgotovitelnykh vyrabotok v usloviyakh Vostochnogo Donbassa* [Specifics of support and maintenance of development workings in conditions of Eastern Donets basin]. *Zapiski gornogo instituta*, 2002, vol. 152, pp. 142-144. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 21.02.2024
Дата опубликования 19.03.2024

Sergey Vladimirovich Balov, Cand. Sci. (Tech.), acting director; e-mail: sergio1965don@mail.ru;
Leonid Fyodorovich Trunov, head of laboratory; e-mail: donugi2009@mail.ru
State Budget Institution “Donetsk Scientific Research Coal Institute”
283048, Donetsk, 114, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (949) 356-97-25

STUDIES ON MINING WORKS CONDITIONS IN FACE ENDS FOR LABOUR CONSUMPTION REDUCTION

Objective. To develop technologies which should provide for coal winning by cutters excluding the manual labour and ensure the closest approach of a powered roof support to a support of adjacent mine working in order to reduce the labour consumption of mining works.

Methods. The practical method of collection and accumulation of data, data processing method, quality method of study and analysis of documents, method of results assessment have been applied.

Results. Based on the conducted studies the technology for the mechanization of mining works at the face ends is in the making.

Scientific novelty. Implementation of the latest results of GBU “DONUGI” studies for development of proposals for improving the stability of roof rocks at the face ends.

Practical value. The technology in the making will make it possible to mechanize the mining works at the face ends, to reduce the labour consumption, to improve the mining works safety.

Keywords: *study; analysis; face ends; technological diagrams; mechanized complexes; labour consumption; mining and geological forecast; timbering and strata control standard.*

Citation. Balov S. V., Trunov L. F. Studies on mining works conditions in face ends for labour consumption reduction. *Nauchnyy vestnik NII “Respirator”*, 2024, no. 1(61), pp. 65-73. EDN IRJRFZ.

УДК 622.273

Леонид Николаевич Капран, зав. лабораторией; e-mail: donugi2009@mail.ru;

Артем Андреевич Сытник, ст. науч. сотр.; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;

Вячеслав Никитович Кирин, ст. науч. сотр.; e-mail: kirin_v48@mail.ru;

Адель Александровна Федористова, вед. констр.; e-mail: niirespirator.vestnik@mail.ru

Государственное бюджетное учреждение

«Донецкий научно-исследовательский угольный институт»

283048, г. Донецк, ул. Артема, 114. Тел.: +7 (949) 356-97-25

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОХРАНЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Цель. Обосновать способы и схемы охраны и поддержания горных выработок с использованием альтернативных материалов для снижения стоимости работ по возведению охранных сооружений.

Методы. Используется комплексный метод исследований, включающий аналитический и лабораторный (проведение лабораторных испытаний).

Результаты. Выполнены расчеты обоснования способов и схем охраны и поддержания горных выработок с использованием альтернативных материалов.

Научная новизна. Обоснованы параметры охранных сооружений из альтернативных материалов, что позволит снизить стоимость работ по возведению охранных сооружений.

Практическая значимость. Охранные сооружения из альтернативных материалов дадут возможность угледобывающим предприятиям: повторно использовать горные выработки, повысить качество крепления и безопасность ведения горных работ, уменьшить себестоимость угля, улучшить технологичность и простоту возведения охранных сооружений, повысить технико-экономические показатели работы угольных шахт, обеспечить рациональное использование материальных и трудовых ресурсов, улучшить условия труда.

Ключевые слова: охранные сооружения; способы охраны; подготовительные выработки; породные полосы; костры металлические; опорные тумбы; чураковая стенка.

Для цитирования: Капран Л. Н., Сытник А. А., Кирин В. Н., Федористова А. А. Обоснование параметров искусственных сооружений из альтернативных материалов для охраны горных выработок // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 1(61). – С. 74–85. EDN IUZBDL.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. В условиях роста цен на шахтные материалы, ограниченности материальных ресурсов на угольных предприятиях ДНР перспективным направлением становится охрана горных выработок с применением искусственных сооружений, возводимых из недорогих альтернативных (подручных) материалов. Вместе с тем анализ нормативных документов и НИР ГБУ «ДОНУГИ» показал, что вопросы охраны выработок искусственными сооружениями из альтернативных материалов, применяемых отдельными предприятиями, ранее не рассматривались.

Целью исследования было обоснование способов и схем охраны и поддержания горных выработок с использованием альтернативных материалов для снижения стоимости работ по возведению охранных сооружений.

Результаты исследования. Для определения параметров охранных сооружений важно знание условий нагружения крепи выработки и охранной конструкции. Представление об этих процессах дают схемы, заимствованные из работы [1], которые представлены на рисунках 1 и 2.

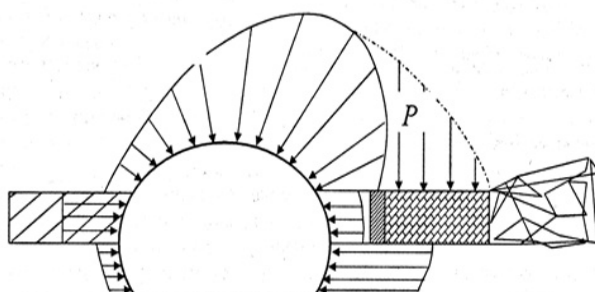


Рис. 1. Схема нагружения крепи выемочного штрека в зоне влияния очистных работ:

P – нагрузка отслоившихся пород на крепь выработки и охранное сооружение

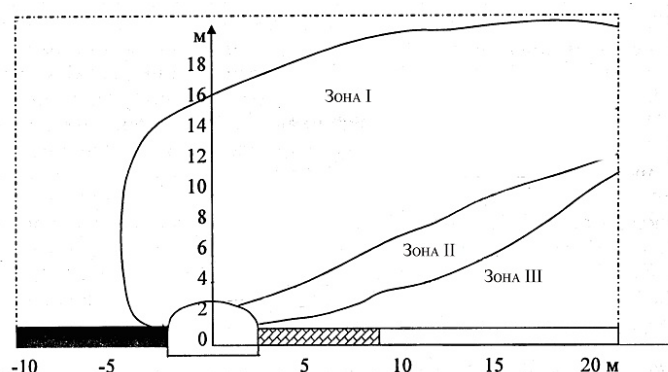


Рис. 2. Схема зон деформаций в окрестности сопряжения лавы со штреком:

I – при отсутствии охранной полосы; II – при наличии охранной полосы шириной 2 м;

III – при наличии охранной полосы шириной 8 м

Как видно из представленных схем, при отсутствии охранных сооружений нарушенность горного массива, в зависимости от крепости пород, может распространяться до 16 м в высоту. В таком случае величина свода обрушения будет большой и нагрузка на крепь достигнет максимума. При использовании охранных сооружений опорное давление смещается в сторону лавы (выработанного пространства) и штрековая крепь испытывает давление от свода пород над выработкой. Поэтому применение охранных сооружений значительно снижает давление на крепь.

Одни из основных факторов, определяющих параметры охранной околоштрековой полосы, – величины ожидаемых смещений пород кровли при выемке угля [2] и ожидаемые нагрузки на полосу, которые зависят

от геомеханических и геотехнических факторов. Для расчета параметров необходимо определить класс кровли по обрушаемости.

В соответствии с указаниями [3] и монографией [1] породы по обрушаемости делятся на три класса (табл. 1).

Таблица 1

Классификация пород по обрушаемости

Класс основной кровли по обрушаемости	Состав и характеристика пород основной кровли
Легкообрушающаяся	Однородная кровля из слоистых аргиллитов и алевролитов общей мощностью более $6...7m$ (m – мощность пласта), R_c до 40 МПа
Среднеобрушающаяся	Однородная кровля из аргиллитов, алевролитов и слоистых песчаников общей мощностью более $6...7m$, R_c от 40 до 80 МПа
Труднообрушающаяся	Над пластом на расстоянии от него менее $3...4m$ залегают массивные песчаники, известняки и алевролиты общей мощностью более 2 м с R_c более 80 МПа

Чтобы установить класс пород по обрушаемости, оценим геологические условия, то есть определим среднюю прочность пород кровли по контуру выработки с учетом всех пересекаемых выработкой слоев (пластов) мощностью более 0,5 м, залегающих от контура сечения выработки в кровле на расстоянии $1,5b$, где b – ширина выработки, м. Для ряда смежных слоев, залегающих по контуру поперечного сечения выработки с изменчивостью R_c , следует принимать для всей выработки усредненное значение прочности по формуле

$$R_c = (R_1 m_1 + R_2 m_2 + \dots + R_n m_n) / (m_1 + m_2 + \dots + m_n),$$

где $R_1...R_n$ – расчетное сопротивление слоев пород сжатию, МПа;

$m_1...m_n$ – мощность слоев, м (п. 3.6 из работы [3]).

По полученным результатам средней прочности пород определяют класс пород по обрушаемости. Затем в соответствии с работой [3] или руководящим документом [4], в зависимости от мощности пласта, угла падения, класса кровли, выбирают искусственные сооружения для охраны горных выработок и определяют их параметры. В качестве альтернативы традиционным способам охраны горных выработок предлагается применение искусственных сооружений, возводимых из недорогих альтернативных (подручных) материалов, таких как породо-цементные полублоки, блоки подпорной тумбовой крепи из отрезков деревянных стоек.

Обоснуем параметры способа охраны и поддержания горных выработок жесткой полосой из породо-цементных полублоков.

Породо-цементный полублок представляет собой изделие прямоугольной формы размерами $300 \times 150 \times 90$ мм, массой 8,0 кг. В качестве основного компонента для производства полублока применяют отходы обогатительной фабрики и породу с породного отвала массой 6,65 кг, а также цемент марки М500 массой 1,35 кг (из расчета на один полублок) (рис. 3).

Время набора прочности изделия составляет 72 часа.

В ходе выполнения лабораторных испытаний с использованием универсальной испытательной машины УММ-100 было установлено, что минимальная прочность полублока на одноосное сжатие составляет 12 000 кН/м², а средняя прочность на одноосное сжатие 13 300 кН/м².

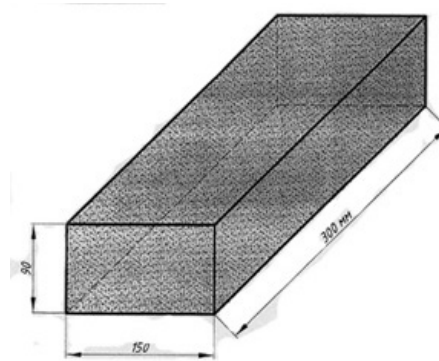


Рис. 3. Эскиз полублока

Для определения параметров жесткой охранной полосы из породо-цементных полублоков сравним ее с общепринятыми способами охраны горных выработок. Представим эту полосу как охрannое сооружение из железобетонных тумб. Необходимое количество полублоков на 1 м выработки определим в соответствии с п. 7.63 из работы [3] по формуле

$$n = P / P_n F,$$

где P – расчетная нагрузка на железобетонные тумбы, кН/м, принимаемая по таблице 2;

P_n – минимальная прочность полублока, кН/м;

F – площадь наибольшей грани полублока, м²; принимаем 0,045 м².

Таблица 2

Расчетная нагрузка на железобетонные тумбы

Мощность разрабатываемого пласта, м	Расчетная нагрузка P на железобетонные тумбы при кровле, кН/м	
	легкообрушающейся	среднеобрушающейся
до 1 м	4000	7000
1...1,5 м	7000	10 000

Ширину охранной полосы определяют по формуле

$$b = nF.$$

Результаты вычислений приведены в таблице 3.

Таблица 3

Ширина охранной околоштрековой полосы

Мощность разрабатываемого пласта, м	Ширина охранной околоштрековой полосы, м, при кровле	
	легкообрушающейся	среднеобрушающейся
до 1 м	0,4	0,6
1...1,5 м	0,6	0,9

Тумбы из железобетонных блоков в зависимости от горно-геологических условий устанавливают:

- при легкообрушающейся кровле в один сплошной ряд;
- при средне- и труднообрушающейся кровле в два сплошных ряда в соответствии с п. 7.63«в» из работы [3].

Исходя из этого, ширину жесткой пороодо-цементной полосы принимаем согласно расчету, но не менее 1 м.

Рассмотрим применяемую жесткую охранную полосу из пороодо-цементных полублоков как вариант литой полосы.

Ширину литой полосы b определяем по формуле

$$b = P / P_n,$$

где P – расчетная нагрузка на литые полосы, кН/м, принимаемая по таблице 4;

P_n – минимальная прочность полублока, кН/м.

Таблица 4

Расчетная нагрузка на литые полосы

Мощность разрабатываемого пласта, м	Расчетная нагрузка P на литые полосы при кровле, кН/м	
	среднеобрушающейся или труднообрушающейся с разупрочнением	труднообрушающейся
до 1 м	10 000	15 000
1...2,0 м	12 000	17 000
2,0...2,5 м	14 000	20 000

Результаты вычислений ширины охранной полосы сводим в таблицу 5.

Таблица 5

Ширина охранной околоштрековой полосы

Мощность разрабатываемого пласта, м	Ширина охранной околоштрековой полосы при кровле b , м	
	среднеобрушающейся или труднообрушающейся с разупрочнением	труднообрушающейся
до 1 м	0,9	1,25
1...2,0 м	1,0	1,45
2,0...2,5 м	1,2	1,7

Ширину литой полосы принимают в соответствии с расчетом, но не менее 1 м согласно п. 7.65«б» из работы [3]. Породо-цементные полублоки имеют хорошие деформационно-нагрузочные характеристики, они обладают также рядом технологических и экономических достоинств: значительно легче железобетонных плит, небольшие размеры обуславливают простоту и технологичность процесса сборки крепежных конструкций.

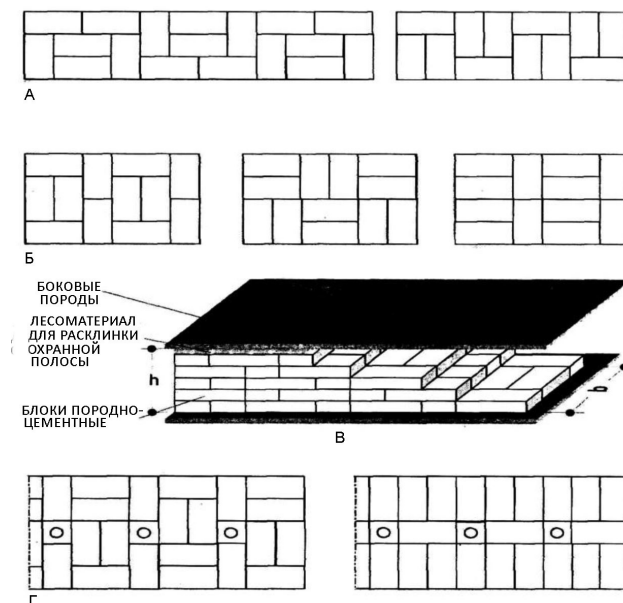


Рис. 4. Способы укладки и перевязки породно-цементных блоков при возведении охранных околоштрековых полос:

А – при ширине охранной полосы 0,9 м; Б – при ширине охранной полосы 1,2 м;

В – концевой участок охранной полосы шириной 1,2 м;

Г – при оставлении в границах охранной полосы деревянных и металлических стоек

Возведение охранной околоштрековой полосы начинают с укладки нижнего ряда блоков на расчищенную почву широкой гранью ($0,3 \times 0,15$ м). Второй и последующий ряды укладывают с перевязкой вертикальных и продольных швов в крепежной конструкции (рис. 4). Для качественной перевязки швов при заданных размерах полублоков протяженность участка полосы, возводимого в течение одной смены, должна быть не менее 0,9 м. Порядок укладки блоков должен обеспечивать сплошность конструкции, исключая оставление в границах полосы пустот. Для того чтобы крепежная конструкция быстрее начала воспринимать горное давление, сразу после ее возведения в зазор между верхним рядом блоков и кровлей пласта укладывают обаполы или любые обрезки лесоматериалов.

Производство пороцо-цементных полублоков базируется исключительно на местной сырьевой базе, их стоимость ниже стоимости железобетонных тумбовых блоков (далее – БЖБТ) и лесоматериалов (рудничной стойки). На рисунке 5 приведена схема возведения жесткой охранной полосы из пороцо-цементных полублоков для поддержания повторно используемой выработки.

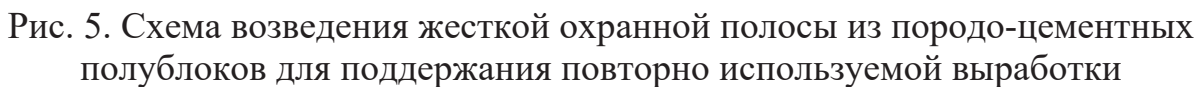
Обоснование параметров способа охраны и поддержания горных выработок блоками подпорной тумбовой крепи.

В качестве альтернативы охранным сооружениям подпорного действия (тумбам из железобетонных блоков [5]) в институте «ДОНУГИ» был разработан блок подпорной тумбовой крепи для охраны пластовых подготовительных выработок на больших глубинах разработки (Технические условия ТУ У 25.1-00185790-108:2012 «Блоки БОПВ»).

Предлагаемый блок подпорной тумбовой крепи предназначен для выкладки тумб, используемых в качестве подпорной и обрезающей крепи.

Состоит блок из обоймы круглой формы, заполненной отрезками деревянных стоек. Обойма стянута стяжками плоской формы из листовой стали, приваренных к основанию обоймы. Имеются монтажные скобы, изготовленные из проката круглого сечения, приваренные к корпусу обоймы.

Суммарная площадь поперечного сечения всех деревянных стоек в обойме принимается в пределах не менее 70...85 % рабочей площади сечения обоймы. Исходя из практических, натурных исследований, блоки должны быть двух типоразмеров: облегченные – диаметром 500 мм и высотой 150 мм; утяжеленные – диаметром 800 мм и высотой 110 мм.



Для определения параметров охранной полосы из блоков БОПВ представим эту полосу как охранный сооружение из тумб. Согласно техническим условиям на блоки БОПВ расчетную несущую способность [5] тумб из блоков диаметром 500 мм принимают равной 1500 кН, а из блоков диаметром 800 мм – 3000 кН.

Тогда необходимое количество блоков БОПВ определяем в соответствии с п. 7.63 из работы [3] по формуле

$$n = P / P_{\text{БОПВ}},$$

где P – расчетная нагрузка на железобетонные тумбы, кН/м, принимаемая по таблице 7;

$P_{\text{БОПВ}}$ – несущая способность тумбы, кН.

Таблица 7

Расчетная нагрузка на железобетонные тумбы

Мощность разрабатываемого пласта, м	Расчетная нагрузка P на железобетонные тумбы при кровле, кН/м	
	легкообрушающейся	среднеобрушающейся
до 1 м	4000	7000
1...1,5 м	7000	10 000

Полученные результаты приведены в таблице 8.

Таблица 8

Количество тумб охранной полосы на пог. м выработки

Мощность разрабатываемого пласта, м	Количество тумб Ø 500 мм охранной полосы на пог. м выработки при кровле	
	легкообрушающейся	среднеобрушающейся
до 1 м	2,6	4,6
1...1,5 м	4,6	6,6
Мощность разрабатываемого пласта, м	Количество тумб Ø 800 мм охранной полосы на пог. м выработки при кровле	
	легкообрушающейся	среднеобрушающейся
до 1 м	1,33	2,33
1...1,5 м	2,33	3,33

На рисунке 6 представлена схема возведения охранных, подпорных тумб из набора высоконесущих, оптимально-податливых блоков типа БОПВ для охраны и поддержания повторно используемых пластовых горных выработок в условиях столбовой или комбинированной системы разработки. Тумбы возводят по мере подвигания очистного забоя вслед за перемещением секций механизированной крепи комплекса. Отставание возведения тумб от секций механизированной крепи не более $l = 0,8\text{--}1,6$ м. Тумбы устанавливают на зачищенной почве пласта путем соосной укладки блоков друг на друга. Зазор между кровлей и верхней плоскостью последнего блока тумбы заполняют деревянными распилами, обрезками брусев и т.п. по всей площади блока.

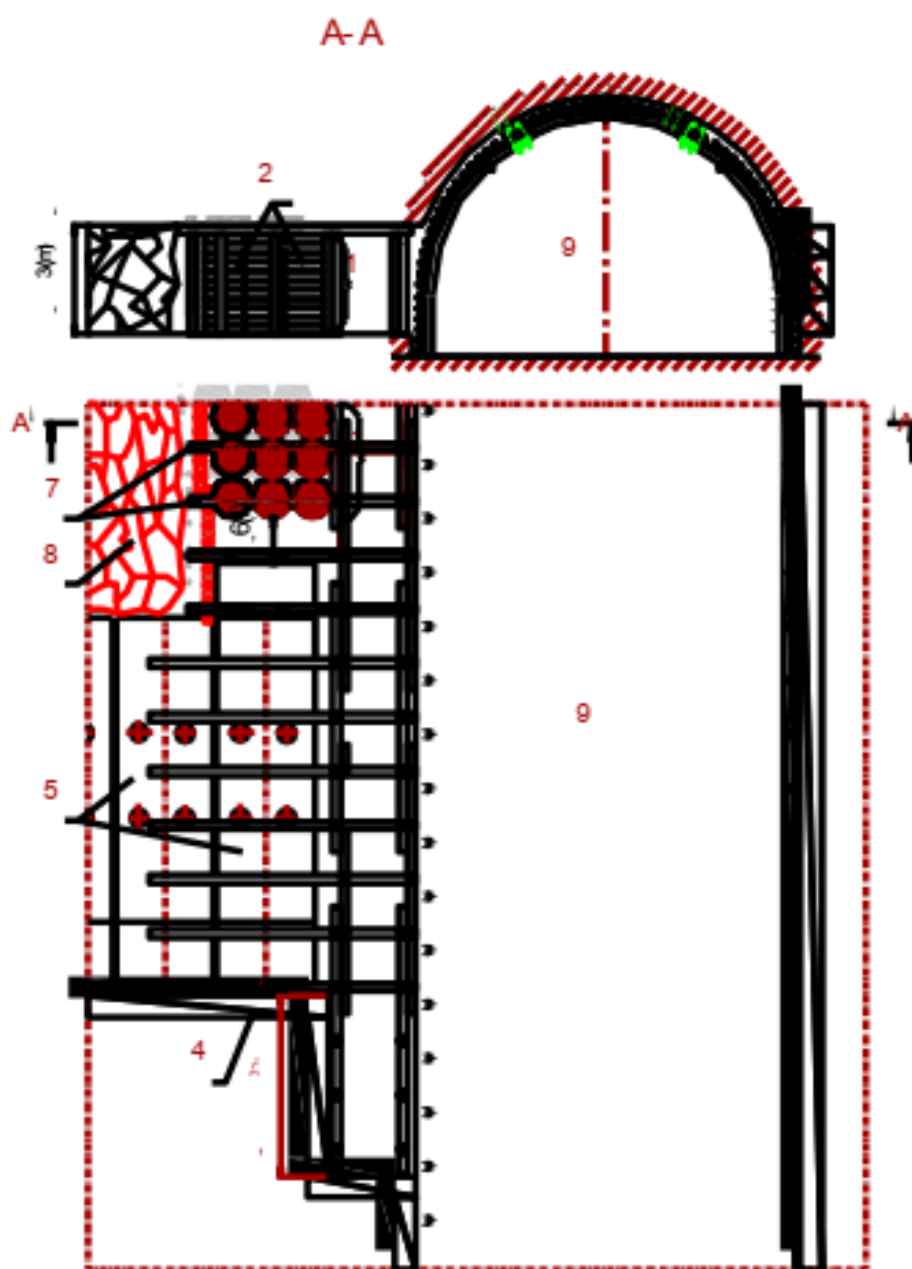


Рис. 6. Схема возведения охранных, подпорных тумб БОПВ для поддержания повторно используемой выработки:

- 1 – охранные, подпорные тумбы; 2 – блоки подпорной тумбовой крепи;
 3(m) – вынимаемая мощность пласта; 4 – очистной забой лавы; 5 – секция механизированной крепи комплекса; 6 – отставание возводимых тумб от секции крепи;
 7 – постоянная рамная деревянная крепь; 8 – органная обрезная крепь;
 9 – поддерживаемая горная выработка

Выводы. На основании проведенных в научно-исследовательской работе аналитических и лабораторных исследований определены и обоснованы основные параметры охранных сооружений из альтернативных материалов, в частности:

- определена прочность на одноосное сжатие пороодо-цементных полублоков;
- обоснована ширина охранной полосы из полублоков и тумб БОПВ в соответствии с нормативными документами.

Апробация охранных сооружений из альтернативных материалов на угольных предприятиях ДНР показала их экономическую и техническую эффективность.

Применение таких охранных сооружений даст возможность угледобывающим предприятиям обеспечить рациональное использование материальных и трудовых ресурсов, улучшить условия труда и безопасность ведения горных работ.

Искусственные сооружения из альтернативных материалов имеют хорошие деформационно-нагрузочные характеристики, которые удовлетворяют требованиям к шахтной крепи.

Они имеют небольшой вес, поэтому вопрос о транспортировке и трудоемкости погрузочно-разгрузочных работ однозначно решается в их пользу. Небольшие размеры элементов охранных конструкций обуславливают простоту и технологичность возведения охранных сооружений, позволяют механизировать процессы погрузки и разгрузки элементов крепи с использованием простейших погрузочных средств.

За счет того, что элементы охранных конструкций из альтернативных материалов удобны в транспортировке, имеют небольшие габариты и вес, сокращается время выполнения работ по выкладке охранной полосы и число рабочих, занятых на этих операциях.

Применение таких охранных сооружений даст возможность угледобывающим предприятиям обеспечить рациональное использование материальных и трудовых ресурсов, улучшить условия труда и безопасность ведения горных работ.

Список литературы / References

1. Байсаров, Л. В. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых горных выработок / Л. В. Байсаров. – Днепропетровск, 2005. – 215 с.

Baysarov, L. V. *Geomekhanika i tekhnologiya podderzhaniya povtorno ispolzuemykh gornykh vyrabotok* [Geomechanics and technology of reclaimed mine workings maintenance]. Dnepropetrovsk, 2005, 215 p. (In Russian)

2. Отраслевой стандарт «Методика расчета «Выбор крепления, способов и средств охраны подготовительных выработок на пологих пластах». – Донецк : ГБУ «ДОНУГИ», 2021. – 119 с.

Otraslevoy standart "Metodika raschyota "Vybor krepleniya, sposobov i sredstv okhrany podgotovitelnykh vyrabotok na pologikh plastakh" [Industry standard "Methodology of calculation 'Selection of timbering, methods and means of support of development workings on flat seams'"]. Donetsk, GBU "DONUGI" Publ., 2021, 119 p. (In Russian)

3. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Ленинград : ВНИМИ, 1985. – 220 с.

Ukazaniya po ratsionalnomu raspolozheniyu, okhrane i podderzhaniyu gornyykh vyrabotok na ugolnykh shakhtakh SSSR [Guidelines on sustainable placement, support and maintenance of mine workings in coal mines of the USSR]. Leningrad, VNIMI Publ., 1985, 220 p. (In Russian)

4. Руководящий документ «Расположение, охрана и поддержание горных выработок на угольных шахтах Донецкого бассейна». – Донецк : ГБУ «РАНИМИ», 2021. – 258 с.

Rukovodyashchiy dokument "Raspolozhenie, okhrana i podderzhanie gornyykh vyrabotok na ugolnykh shakhtakh Donetskogo basseina" [Guidelines "Placement, support and maintenance of mine workings in coal mines of the Donets basin]. Donetsk, GBU "RANIMI" Publ., 2021, 258 p. (In Russian)

5. Зубов, В. П. Подземная разработка пластовых месторождений полезных ископаемых / В. П. Зубов, А. В. Васильев, О. И. Казанин. – Санкт-Петербург, 2016. – 760 с.

Zubov, V. P., Vasilyev, A. V., Kazanin, O. I. *Podzemnaya razrabotka plastovykh mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh* [Underground development of stratified mineral deposits]. Saint Petersburg, 2016, 760 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук Г. И. Пефтибаем
Дата поступления рукописи 26.02.2024
Дата опубликования 19.03.2024

Leonid Nikolayevich Kapran, head of laboratory; e-mail: donugi2009@mail.ru;

Artyom Andreyevich Sytnik, senior scientific associate; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;

Vyacheslav Nikitovich Kirin, senior scientific associate; e-mail: kirin_v48@mail.ru;

Adel Aleksandrovna Fedoristova, principle designer; e-mail: niirespirator.vestnik@mail.ru

State Budget Institution "Donetsk Scientific Research Coal Institute"

283048, Donetsk, 114, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (949) 356-97-25

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS FOR ENGINEERING STRUCTURES MADE OF ALTERNATIVE MATERIALS FOR MINE WORKINGS SUPPORT

Objective. Substation of methods and diagrams for support and maintenance of mine workings utilizing the alternative materials for cost reduction of support structures construction.

Methods. The integrated method of study is applied including the analysis and laboratory-scale tests.

Results. The computations have been fulfilled for substantiating the methods and diagrams of support and maintenance of mine workings utilizing the alternative materials.

Scientific novelty. The parameters of support structures made of alternative materials have been substantiated which will allow for the support structures construction cost to be reduced.

Practical value. The support structures made of alternative materials will make it possible for the coal mining enterprises to reclaim the mine workings, to improve the quality of support and safety of mining works, to reduce coal producing cost, to enhance and simplify the support structures construction technology, to advance the cost-performance ratio of coal mines work; to ensure the sustainable use of material and human resources, to upgrade the work conditions.

Keywords: support structures; support methods; development workings; rock packs; steel chocks; bearing nodes; end wall.

Citation. Kapran L. N., Sytnik A. A., Kirin V. N., Fedoristova A. A. Substantiation of parameters for engineering structures made of alternative materials for mine workings support. Nauchnyy vestnik NII "Respirator", 2024, no. 1(61), pp. 74-85. EDN IUZBDL

III. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

УДК 614.8-051:331.45

Анатолий Филиппович Долженков, д-р техн. наук, зам. начальника (по научной работе);

e-mail: a.dolzhenkov@80.mchs.gov.ru;

Татьяна Олеговна Мороз, нач. отд.; e-mail: t.moroz@80.mchs.gov.ru;

Екатерина Кайржановна Джалетова, инж.; e-mail: e.dzhaletova@80.mchs.gov.ru

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-43

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО И ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СПАСАТЕЛЕЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Цель. Обоснование параметров комплексной оценки физиологической устойчивости организма спасателей в экстремальных условиях для повышения качества профессиональной подготовки спасателей.

Методы. При решении поставленных задач были использованы анализ, обобщение и систематизация материалов по оценке физиологической устойчивости организма спасателей в экстремальных условиях.

Результаты. Обоснованы подходы к оценке параметров физиологической устойчивости организма спасателей в экстремальных условиях.

Научная новизна. Обоснована физиолого-гигиеническая характеристика условий труда спасателей при работе в экстремальных условиях во время ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Практическая значимость. Полученные результаты позволят повысить качество профессиональной подготовки личного состава, оценить состояние здоровья спасателей, участвующих в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: физиологическая устойчивость; экстремальные условия; опасные и вредные факторы; спасатели; функциональное состояние; работоспособность.

Для цитирования: Долженков А. Ф., Мороз Т. О., Джалетова Е. К. Методы оценки физиологического и психологического состояния спасателей в экстремальных условиях // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 1(61). – С. 86–95. EDN KAZGSC.

Постановка проблемы. Работа в необычных и экстремальных условиях сопряжена с большим количеством рисков и требует от людей полной мобилизации их физических и психологических ресурсов.

Спасатели при выполнении поставленных задач сталкиваются со множеством опасных и вредных факторов, таких как:

- угроза жизни и здоровью, вызванная разрушением зданий и сооружений, взрывами, пламенем, химическими веществами, радиацией, электрическим током и другими опасностями;
- физические нагрузки, которые требуют большого усилия (перегрузки, работа в средствах индивидуальной защиты, неудобное положение тела во время работы, воздействие вибрации, задымление, экстремально высокая или низкая температура окружающей среды, шум, недостаточное освещение);

- необходимость быстрого принятия решений в непредсказуемой, меняющейся опасной обстановке и высокая ответственность за правильность принимаемых решений;
- высокие психологические нагрузки.

Скорость принятия решений и профессионализм спасателей и пожарных при ликвидации последствий аварий, катастроф, пожаров и других чрезвычайных ситуаций имеют большое значение в вопросах сохранения здоровья и жизни людей, повышают боеготовность подразделений Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (далее – МЧС России). Повышение физической и психологической готовности спасателей позволит решить данную проблему, поскольку не всегда возможно увеличить число спасательных служб по причинам недостаточной материальной и технической оснащённости.

Анализ последних исследований. Сочетание психологических и физических факторов, вызванных техногенными и природными катастрофами, негативно влияет на психологическое и физиологическое состояние и профессиональную работоспособность сотрудников МЧС России, приводит к истощению компенсаторных ресурсов, повышению риска развития функциональных и психологических нарушений и осложнению течения заболеваний. Вследствие этого возрастает количество соматических и психоневрологических заболеваний. При длительных физических и нервно-психических перегрузках в профессиональной деятельности происходят негативные изменения функционального состояния и работоспособности спасателя.

Современная наука накопила опыт в оценке здоровья людей, которые подвержены воздействию вредных условий окружающей среды, но не имеют явных проявлений симптомов профессиональных и производственно обусловленных заболеваний. Это позволяет рассматривать возможность применения методов доклинической диагностики отдельных симптомов заболеваний у спасателей с профилактической точки зрения [1].

Цель работы – обоснование параметров комплексной оценки физиологической устойчивости организма спасателей в экстремальных условиях для повышения качества профессиональной подготовки спасателей.

Результаты исследований. Изучение функционирования сердечно-сосудистой и дыхательной систем – важный инструмент оценки физиологического состояния организма. Это позволяет проводить исследования по профилактике различных заболеваний. Для оценки возможностей дыхательной системы используют пробы с удержанием дыхания на вдохе (проба Штанге) и на выдохе (проба Генча), которые дают информацию о кислородном обеспечении организма.

Перед определением пробы Штанге необходимо отдохнуть 5 мин, затем выполнить 2...3 глубоких вдоха и выдоха и еще один глубокий вдох с последующей задержкой дыхания. Измеряют время максимальной задержки дыхания. Результаты интерпретируют следующим образом: свыше 50 с – отлично, 40...50 с – удовлетворительно, менее 40 с – плохо.

Функциональную пробу Генча выполняют аналогично пробе Штанге, только дыхание задерживают на выдохе. Интерпретация результата: задержка более 40 с – хорошо, 35...40 с – удовлетворительно, менее 35 с – плохо.

Чтобы определить способность справиться с недостатком кислорода и оценить уровень адаптации дыхательной системы к стандартным физиологическим нагрузкам, используют индекс Богомазова (ИБ) – показатель для изучения толерантности дыхательной системы к различным физическим нагрузкам. Его определяют по формуле

$$ИБ = \frac{\text{значение пробы Штанге (с)} + \text{значение пробы Генча (с)}}{90} \cdot 100.$$

Функциональное состояние кардиореспираторной системы оценивают согласно таблице 1 [1].

Таблица 1

Оценка функционального состояния кардиореспираторной системы по значению индекса Богомазова

Уровень функционирования	Значение ИБ
Неудовлетворительное	56 и менее
Удовлетворительное	57...87
Хорошее	88...113
Отличное	свыше 114

Индекс физического состояния (ИФС) отражает физическое развитие, физическую подготовленность, функциональные возможности сердечно-сосудистой системы (ССС) и дыхательной системы для практически здоровых лиц в возрасте от 20 до 60 лет:

$$ИФС = \frac{700 - 3ЧСС - 0,8333АДс - 1,6667АДд - 2,7В + 0,28М}{350 - 2,6В + 0,21L},$$

где ЧСС – частота сердечных сокращений, уд/мин;

АДс – артериальное давление систолическое, мм рт. ст.;

АДд – артериальное давление диастолическое, мм рт. ст.;

V – возраст, год;

M – масса, кг;

L – рост, см.

В качестве градаций использованы нормативы индекса физического состояния, приведенные в таблице 2.

Таблица 2

Нормативы, используемые при определении индекса физического состояния

Уровень функционирования	Значение ИФС
Низкий	менее 0,375
Ниже среднего	0,375...0,525
Средний	0,526...0,675
Выше среднего	0,676...0,825
Высокий	от 0,826 и более

Индекс Кердо применяется для оценки деятельности вегетативной нервной системы и определяется по формуле

$$\text{индекс Кердо} = \left(1 - \frac{\text{АДл}}{\text{ЧСС(пульс)}}\right) \cdot 100.$$

Границы индекса Кердо: от -10 до $+10$ – нормальные значения; менее -10 – влияние парасимпатки; более $+10$ – влияние симпатки.

Индекс массы тела (ИМТ) рассчитывают по следующей формуле:

$$\text{ИМТ} = \frac{\text{Вес}}{\text{Рост}^2}.$$

Его значения занесены в таблицу 3.

Таблица 3

Значения индекса массы тела

Характеристика	Значение показателя, кг/м ²
Дефицит массы	< 19,5
Норма	19,5...24,9
Избыток массы	25...29,9
Характеристика	Значение показателя, кг/м ²
Ожирение 1 степени	30...34,9
Ожирение 2 степени	35...39,9
Ожирение 3 степени	40...44,9
Ожирение 4 степени	45 и более

С помощью индекса Квааса оценивают тренированность сердечно-сосудистой системы к выполнению физической нагрузки

$$\text{индекс Квааса} = 10 \frac{\text{ЧСС(покоя)}}{(\text{Адс}-\text{АДд})}.$$

Нормальное значение показателя – 12...15 ед. Увеличение индекса Квааса вследствие снижения пульсового давления указывает на детренированность сердечно-сосудистой системы.

Для определения физической работоспособности используют секундомер, метроном и две ступеньки высотой 50 см и 25 см, шириной не менее 40 см и глубиной 35 см. Тест проводят в повседневной одежде, при частоте восхождения на ступеньки 20 раз в минуту (с маятником метронома на 80 уд/мин) и восхождении в четыре шага, которые соответствуют ударам метронома. Каждая физическая нагрузка длится 4 мин. Перед началом теста необходимо ознакомить с его техникой и дать возможность выполнить 2...3 пробных восхождения [2].

Суть методики заключается в следующем: испытуемый подходит к экспериментальной ступеньке и после подачи соответствующей команды начинает движение по ступеньке высотой 25 см в ритме метронома. Одновременно включают секундомер и испытуемый сначала ставит одну ногу на ступеньку, затем становится на нее обеими ногами, выпрямляет их, принимая вертикальное положение и, наконец, становится двумя ногами на пол. Начинать и оканчивать тест следует с одной и той же ноги, а руки при этом двигаются так же, как при обычной ходьбе. Один из способов определить пульсацию лучевой артерии – нащупывание ее пульса пальцами (или с помощью аппаратуры) в течение 10 с на 4-й мин работы. После теста испытуемый отдыхает две минуты. Затем эксперимент повторяют с подъемом на ступеньку высотой 50 см. Полученное значение умножают на 6.

Интегральный показатель, характеризующий работоспособность человека, выражают количественно через значение физической работоспособности PWC_{170} и рассчитывают по формуле

$$PWC_{170} = \frac{\left[N_1 + (N_2 - N_1) \frac{(170 - P_1)}{(P_2 - P_1)} \right]}{M},$$

где P_1 – частота сердечных сокращений в первой нагрузке, уд. за 10 с;

P_2 – частота сердечных сокращений во второй нагрузке, уд. за 10 с;

N_1 – мощность первой нагрузки, кГм/мин;

N_2 – мощность второй нагрузки, кГм/мин;

M – масса тела обследуемого спасателя, кг.

Мощность нагрузки определяют по формуле

$$N = \frac{Mhn}{\tau},$$

где N – мощность первой и второй нагрузок соответственно, кГм/мин;

h – высота ступеньки, м;

n – суммарное количество циклов восхождения;

τ – общее время восхождения, мин.

Проведя сравнительный анализ значений показателя PWC_{170} с данными таблицы 4, можно оценить физическую работоспособность исследуемых спасателей.

Таблица 4

Показатели физической работоспособности спасателей с учетом возраста

Возраст, лет	Низкая	Пониженная	Средняя	Высокая	Очень высокая
20...29	14,2 и менее	14,3...16,2	16,3...19,3	19,4...20,9	21 и более
30...39	12,9 и менее	13,0...14,9	15,0...17,9	18,0...19,1	19,2 и более
40...49	11,5 и менее	11,6...13,4	13,5...16,4	16,5...17,9	18,0 и более
50...59	9,7 и менее	9,8...12,0	12,1...14,9	15,0...16,4	16,5 и более

С помощью упражнений, можно оценить гибкость и силу мышц ног, используя пробу Абалакова. Эта проба позволяет также оценить работу вестибулярного аппарата. Для выполнения пробы необходимо стоять лицом к стене, поднять правую руку как можно выше и отталкиваясь двумя ногами, допрыгнуть до отметки на стене. Результатом является разница между высотой поднятой руки и высотой, до которой допрыгнул испытуемый. Обычно мужчины молодого возраста могут прыгнуть на 40 см, а среднего возраста – на 37 см.

Функции вестибулярной системы поможет определить проба на равновесие, предложенная Озерецким. Чтобы выполнить эту пробу, нужно, стоя на одной ноге, поставить на ее колено пятку другой ноги, положить руки на пояс, закрыть глаза и стоять в таком положении как можно дольше. Для молодых мужчин и женщин время выполнения этой пробы должно составлять не менее 20 и 15 с соответственно, а для мужчин и женщин среднего возраста – 15 и 12 с [3].

Тепловую устойчивость определяют в специально оборудованной микроклиматической камере при температуре воздуха $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ и относительной

влажности (85 ± 5) %. Объемная доля кислорода в воздухе должна быть не менее 20,7 %, диоксида углерода – не более 0,1 %.

Перед определением тепловой устойчивости у обследуемого при комфортной температуре измеряют температуру тела, частоту сердечных сокращений и артериальное кровяное давление.

Во время работы визуально наблюдают за координацией движений обследуемого, цветом кожных покровов, самочувствием, теплоощущениями. Каждые 5 мин регистрируют температуру тела и ЧСС. После окончания работы обследуемый пожарный спасатель (или кандидат на его должность) отдыхает в предкамере при комфортной температуре в течение 20...30 мин под контролем медработника (фельдшера).

Интегральный показатель тепловой устойчивости T_1 рассчитывают по уравнению

$$T_1 = \tau \frac{100 - \Delta H}{H_0 \Delta t},$$

где τ – время работы обследуемого в камере до достижения заданного прироста температуры тела Δt , равного 1 °С;

H_0 – исходный уровень частоты сердечных сокращений, уд/мин;

ΔH – прирост частоты сердечных сокращений, уд/мин.

Значение T_1 , равное 10 и менее, следует считать низким, 10...15 – средним, 16 и более – высоким (пригодным).

Если нет микроклиматической камеры, тест на тепловую устойчивость проводят в воздухо- и паронепроницаемом костюме в помещении с нерегулируемым микроклиматом при температуре воздуха 20...35 °С [4].

После получасового отдыха в комфортных условиях обследуемый надевает костюм из влагонепроницаемого материала (прорезиненный) или хлопчатобумажное белье, хлопчатобумажный костюм, пленочный материал, резиновые сапоги и перчатки, респиратор, затем включается в респиратор, выполняет физическую работу – подъемы на ступеньку высотой 20 см в ритме 20 раз в минуту.

Интегральный показатель тепловой устойчивости в этом случае определяют по формуле

$$T_1 = \tau \frac{100 - \Delta H}{H_0 \Delta t} \cdot 0,023t,$$

где t – температура воздуха в помещении, °С.

Психологическая устойчивость спасателей в экстремальных условиях зависит от ряда факторов. Важна профессиональная психологическая подготовка, так

как она помогает спасателю эффективно действовать в экстремальных ситуациях. Опыт работы тоже имеет значение, поскольку развивает навыки и уверенность в принятии решений в сложных обстоятельствах. Индивидуальные особенности психики спасателя также важны. Они проявляются в его способности справляться с риском для жизни, неопределенностью, ограниченным временем, интенсивными физическими нагрузками и сильными эмоциональными воздействиями, связанными с работой с пострадавшими и погибшими. В целом психологическая устойчивость спасателя в экстремальных условиях зависит от сочетания вышеназванных факторов. Психологическая устойчивость включает навыки, знания и умения, которым может научиться и развить в себе каждый человек.

При анализе и прогнозировании психологической стойкости используются две категории методов: разнообразные психологические тесты и анкеты (например, тесты Тейлора, Айзенка, Роршаха и др.); изучение социальных и профессиональных характеристик исследуемых. Цель тестирования – выявление личностных качеств (например, тревожность, уровень терпимости к фрустрации, когнитивные способности, эмоциональность и другие), которые существенно влияют на поведение человека в экстремальных условиях. Например, для оценки психоэмоционального состояния применяют критерий тревожности, известный как модифицированный опросник Тейлора. Этот анкетный метод позволяет оценить уровень тревожности и эмоционального состояния. Для измерения нейротизма используют личностный опросник Айзенка, включающий 33 вопроса. Один из самых известных психодиагностических тестов личности – тест Роршаха, или методика чернильных пятен Роршаха. Ответ позволяет определить индивидуальные свойства и склонности конкретного человека [5].

Выводы. Анализ методов оценки функционального состояния кардиореспираторной и нервной систем спасателей и их работоспособности в условиях ликвидации чрезвычайных ситуаций позволил обосновать применение расчетных методик оценки уровня функционального состояния организма спасателей в экстремальных условиях и сделать вывод о перспективности проведения дальнейших исследований в области анализа методов физиологической устойчивости и оценки состояния здоровья спасателей в экстремальных условиях.

Список литературы / References

1. Методы оценки и повышения функциональных резервов организма у специалистов МЧС России / А. О. Пятибрат, М. В. Санников, В. Ю. Рыбников, П. Д. Шабанов, Р. Т. Салсанов. – Санкт-Петербург : ВЦЭРМ им. А. М. Никифорова, 2016. – 52 с.

Pyatibrat, A. O., Sannikov, M. V., Rybnikov, V. Yu., Shabanov, P. D., Salsanov, R. T. *Metody otsenki i povysheniya funktsionalnykh rezervov organizma u spetsialistov MChS Rossii* [Methods of assessment and improvement of functional body reserves of EMERCOM of Russia specialists]. Saint Petersburg, VTsERM im. A.M. Nikiforova Publ., 2016, 52 p. (In Russian)

2. Оценка и коррекция функционального состояния лиц, участвующих в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций / С. С. Алексанин, М. В. Санников, В. Ю. Рыбников, Ю. В. Гудзь. – Санкт-Петербург : Научные технологии, 2020. – 128 с.

Aleksanin, S. S., Sannikov, M. V., Rybnikov, V. Yu., Gudzy, Yu. V. *Otsenka i korrektsiya funktsionalnogo sostoyaniya lits, uchastvuyushchikh v likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy* [Assessment and correction of functional state of individuals participating in elimination of consequences of emergency situations]. Saint Petersburg, Naukoyomkie tekhnologii Publ., 2020, 128 p. (In Russian)

3. Психологическая устойчивость человека в чрезвычайных ситуациях / сост. Д. Р. Мерзлякова. – Ижевск: Изд-во Удмуртского университета, 2014. – 205 с.

Merzlyakova, D. R. *Psikhologicheskaya ustoychivost cheloveka v chrezvychaynykh situatsiyakh* [Psychological resistance of an individual in emergency situations]. Izhevsk, Udmurtskiy universitet Press, 2014, 205 p. (In Russian)

4. Загрядский, В. П. Методы исследования в физиологии труда / В. П. Загрядский, З. К. Сулимо-Самуйлло. – Ленинград : ВМедА, 1991. – 110 с.

Zagryadskiy, V. P., Sulimo-Samuylo, Z. K. *Metody issledovaniya v fiziologii truda* [Methods of investigation in occupational physiology]. Leningrad, VMedA Publ., 1991, 110 p. (In Russian)

5. Бушов, Ю. В. Психофизиологическая устойчивость человека в особых условиях деятельности: оценка и прогноз / Ю.В. Бушов. – Томск : Изд-во Томского университета, 1992. – 176 с.

Bushov, Yu. V. *Psikhofiziologicheskaya ustoychivost cheloveka v osobykh usloviyakh deyatel'nosti: otsenka i prognoz* [Psycho-physiological resistance of a person in special conditions of activity: evaluation and prediction]. Tomsk, Tomskiy universitet Press, 1992, 176 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. Г. Агеевым
Дата поступления рукописи 12.02.2024
Дата опубликования 19.03.2024

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

e-mail: a.dolzhenkov@80.mchs.gov.ru;

Tatyana Olegovna Moroz, head of department; e-mail: t.moroz@80.mchs.gov.ru;

Yekaterina Kayrzhanovna Dzhaletova, engineer; e-mail: e.dzhaletova@80.mchs.gov.ru

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

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-43

METHODS FOR EVALUATION OF PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL STATE OF RESCUERS IN EXTREME CONDITIONS

Objective. Substantiation of parameters for integrated evaluation of human physiological resistance to the extreme conditions in order to improve the quality of rescuers' professional training.

Methods. Addressing the problem, the analysis, generalization and systematization of materials on assessment of rescuers' physiological state in the extreme conditions were applied.

Results. The approaches to assessment of parameters of rescuers' physiological resistance in the extreme conditions were substantiated.

Scientific novelty. There has been given a rationale for the physio-hygienic characteristic of the rescuers' working conditions in the extreme conditions during elimination of consequences of the emergency situations.

Practical value. The obtained results will facilitate the improvement of personnel professional training quality and assess the health state of the rescuers participating in the elimination of consequences of the emergency situations.

Keywords: *physiological resistance; extreme conditions; hazardous and harmful factors; rescuers; functional state; performance efficiency.*

Citation. Dolzhenkov A. F., Moroz T. O., Dzhaletova Ye. K. Methods for evaluation of physiological and psychological state of rescuers in extreme conditions. Nauchnyy vestnik NII "Respirator", 2024, no. 1(61), pp. 86-95. EDN KAZGSC.

УДК 614.841.4:699.812.3

Виктория Валентиновна Лебедева, нач. отд.; e-mail: v.lebedeva@80.mchs.gov.ru;

Игорь Николаевич Непочатых, науч. сотр.; e-mail: tamdoka@mail.ru;

Олег Владимирович Храпоненко, науч. сотр.; e-mail: o.hraponenko@80.mchs.gov.ru

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-55

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СУЛЬФАТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ НА СНИЖЕНИЕ ГОРЮЧЕСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Цель. Выполнить сравнительные экспериментальные исследования по оценке влияния сульфатсодержащих соединений на огнезащитную эффективность пропиточных составов для улучшения их свойств.

Методы. Определение группы огнестойкости образцов и горючести древесины в открытом пламени газовой горелки.

Результаты. Исследован ряд смесей на основе сульфата аммония, моноаммонийфосфата, диаммонийфосфата с добавками сульфата и дифосфата калия, сульфата железа (III)-аммония и проведена сравнительная оценка их влияния на пожароопасные свойства древесины. Установлено, что введение сульфата калия в системы «диаммонийфосфат – сульфат аммония» и «диаммонийфосфат – моноаммонийфосфат» способствует наибольшей огнезащитной эффективности, выраженной в минимальной потере массы и скорости выгорания экспериментальных образцов.

Научная новизна. Впервые экспериментально установлено влияние сульфата калия в системе «диаммонийфосфат – сульфат аммония» и «диаммонийфосфат – моноаммонийфосфат» на снижение горючести древесины.

Практическая значимость. Применение сульфата калия в качестве антипирена в составе огнезащитной пропитки позволит снизить риск возгорания деревянных элементов и конструкций с невысокой степенью огнезащиты ввиду большой скорости распространения пламени.

Ключевые слова: антипирен; огнезащитная эффективность; пожарная безопасность; огнезащита древесины; потеря массы; пропиточный состав.

Для цитирования: Лебедева В. В., Непочатых И. Н., Храпоненко О. В. Экспериментальная оценка влияния сульфатсодержащих соединений на снижение горючести древесины // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 1(61). – С. 96–105. EDN KLPURW.

Постановка проблемы. Древесина, как строительный материал, с точки зрения обеспечения пожарной безопасности имеет существенные недостатки: низкую температуру воспламеняемости и высокую горючесть, ограничивающие ее широкое применение в сфере гражданского и промышленного строительства. Для снижения пожароопасных свойств древесину обрабатывают огнезащитными составами, которые классифицируют по основным типам огнезащиты (табл. 1).

Таблица 1

Классификация огнезащитных составов для древесины

Тип огнезащитного покрытия	Тип смеси	Особенности применения
Лаки	Раствор или эмульсия	После высыхания образуют на поверхности тонкую прозрачную пленку
Краски	Однородная суспензия	После высыхания образуют на поверхности тонкую непрозрачную пленку
Пасты (обмазки)	Однородная пастообразная консистенция	После высыхания образуют на поверхности слой покрытия большей толщины, чем лаки и краски
Пропитки	Раствор антипиренов	Не образуют на поверхности пленку, проникают в структуру древесины, не меняют эстетические качества материала, позволяют наносить поверх древесины краски и лаки

На сегодняшний день к одному из наиболее распространенных видов огнезащиты древесины и материалов на ее основе относят поверхностную пропитку под действием капиллярных сил. Традиционно при пропитке используют в качестве антипиренов азотсодержащие и фосфорсодержащие соединения. В присутствии воды эти соединения приводят к появлению системы «азот (N) – фосфор (P)», защитное действие которой заключается в образовании аммиака (NH_3), затрудняющего доступ кислорода воздуха к поверхности древесины и уменьшающего окисление углерода в газовой фазе, создавая эффект затухания. Наряду с азотсодержащими и фосфорсодержащими соединениями в качестве антипиренов возможно применение негорючих солей серной кислоты – сульфатов.

Анализ последних исследований. Исследованию свойств пропиток на основе азотсодержащих и фосфорсодержащих антипиренов для огнезащитной обработки поверхности древесины посвящены научные труды многих исследователей [1–6]. Эффективность использования неорганических наполнителей с фосфор-, серосодержащими олигомерными антипиренами в качестве огнезащитных средств строительных материалов из древесины и полимеров показана в работе [7]. Влияние соотношения моноаммонийфосфата к сульфату аммония на процесс вспучивания в огнезащитных покрытиях рассмотрено в статье [8]. Помимо сульфата аммония данных в научной литературе об огнезащитных свойствах пропиточных составов, содержащих сульфаты, недостаточно. В связи с этим представляет научный и практический интерес изучение сульфатсодержащих соединений в качестве антипиренов для пропиточных составов древесины.

Цель исследования – выполнить сравнительные экспериментальные исследования по оценке влияния сульфатсодержащих соединений на огнезащитную эффективность пропиточных составов для улучшения их свойств.

Изложение основного материала. Методика эксперимента включала два этапа. Первый этап предусматривал предварительную оценку огнезащитных свойств составов, включающих сульфат- и фосфорсодержащие соединения в пламени портативной горелки – газовой зажигалки ТУРБО QL A001 с температурой пламени 1100 °С. Образцы древесины сосны размерами 150×30×2,5 мм на 110 мм их длины опускали на 5 мин в водные растворы антипиренов с концентрациями согласно разработанным рецептурам. Обработанные образцы высушивали в термошкафу при температуре (60±5) °С в течение 1 ч и в естественных условиях – 30 мин. Высушенные образцы древесины закрепляли в лабораторном штативе под углом 30 ° и поджигали с необработанной стороны. Для контроля принят образец древесины, не обработанный пропиточным составом. Эффективность огнезащитных свойств исследуемых пропиточных составов оценивали по времени горения τ , с, и длине сгоревшего участка образца l , мм, обработанного составом, а также его скорости выгорания.

Скорость выгорания v , мм·с⁻¹, участков образцов, обработанных исследуемыми составами, рассчитывали по формуле

$$v = \frac{l}{\tau}.$$

Следует подчеркнуть, что предварительная оценка огнезащитной эффективности составов важна для получения экспериментальных данных, которые необходимы для дальнейшего создания рецептуры огнезащитной пропитки.

Второй этап эксперимента заключался в определении группы огнезащитной эффективности опытных образцов, показавших наилучшие результаты предварительного эксперимента. Оценку огнезащитных свойств проводили по потере массы Δm , %, образцов древесины, обработанных испытываемыми составами, при воздействии пламени в условиях, благоприятствующих аккумуляции тепла, в соответствии с ГОСТ 16363–98 «Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств».

Экспериментальные образцы готовили с расходом исследуемых пропиточных составов P в диапазоне 324...366 г/м².

Результаты исследования. При выборе неорганических солей – антипиренов, используемых в качестве объектов исследования, исходили из возможности их растворения в воде при температуре 25 °С (табл. 2).

Таблица 2

Свойства антипиренов

Наименование соединения	Химическая формула	Растворимость в воде при температуре 25 °С, г/100 мл
Сульфат железа (III) – аммония	$\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	124
Сульфат аммония	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	76,9
Сульфат калия	K_2SO_4	12
Моноаммонийфосфат	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	37,1
Диаммонийфосфат	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	251
Дифосфат калия	$\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$	187
Карбамид	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	54,5

Следует подчеркнуть, что выбранные соединения безопасны в пожарном отношении.

Рецептуры составов составляли с учетом ингибирующих свойств аммонийных солей, из которых наибольший практический интерес представляют сульфат аммония, моноаммонийфосфат и диаммонийфосфат (табл. 3).

Таблица 3

Рецептуры составов и результаты экспериментов

Номер состава	Рецептура состава, мас. %	Результат эксперимента		Вывод
		τ , с	l , мм	
1	сульфат аммония – 38 сульфат железа (III) – аммония – 2 вода – 60	21	85	Образец испытания не выдержал
2	сульфат аммония – 38 дифосфат калия – 2 вода – 60	15	75	Образец испытания не выдержал
3	диаммонийфосфат – 30 сульфат аммония – 10 вода – 60	63	34	Интенсивность обугливания древесины низкая
4	диаммонийфосфат – 30 сульфат аммония – 10 сульфат калия – 2 вода – 58	70	10	Препятствует воспламенению древесины
5	диаммонийфосфат – 12,5 моноаммонийфосфат – 12,5 карбамид – 12,5 сульфат калия – 2 вода – 60,5	65	7	Препятствует воспламенению древесины
6	Не обработанная огнезащитным составом древесина (контрольный образец)	155	150	Полное прогорание образца

Среди испытанных образцов наиболее выраженным огнезащитным эффектом (табл. 3) обладают составы № 3, № 4 и № 5, так как фронт распространения пламени по пропитанной антипиреном древесине незначительно выходил за границу между обработанным и необработанным участком каждого из образцов. Кроме того, после отключения источника пламени самостоятельного горения (тления) образцов № 3, № 4 и № 5 не установлено (рис. 1).

Введение в состав пропитки сульфата калия препятствует горению древесины – повреждений участка, обработанного составами № 4 и 5, не зафиксировано.

Образцы, пропитанные составами на основе сульфата аммония с сульфатом железа (III) – аммония (состав № 1) и дифосфатом калия (состав № 2), испытания в пламени портативной горелки не выдержали – длина сгоревшего участка образца, обработанного пропиточным составом № 1, составила 85 мм (77 % от длины обработанного участка), а образца, пропитанного составом № 2, – 75 мм (68 % от длины обработанного участка). Как и ожидалось, образец древесины, не обработанный пропиточным составом, сгорел полностью.

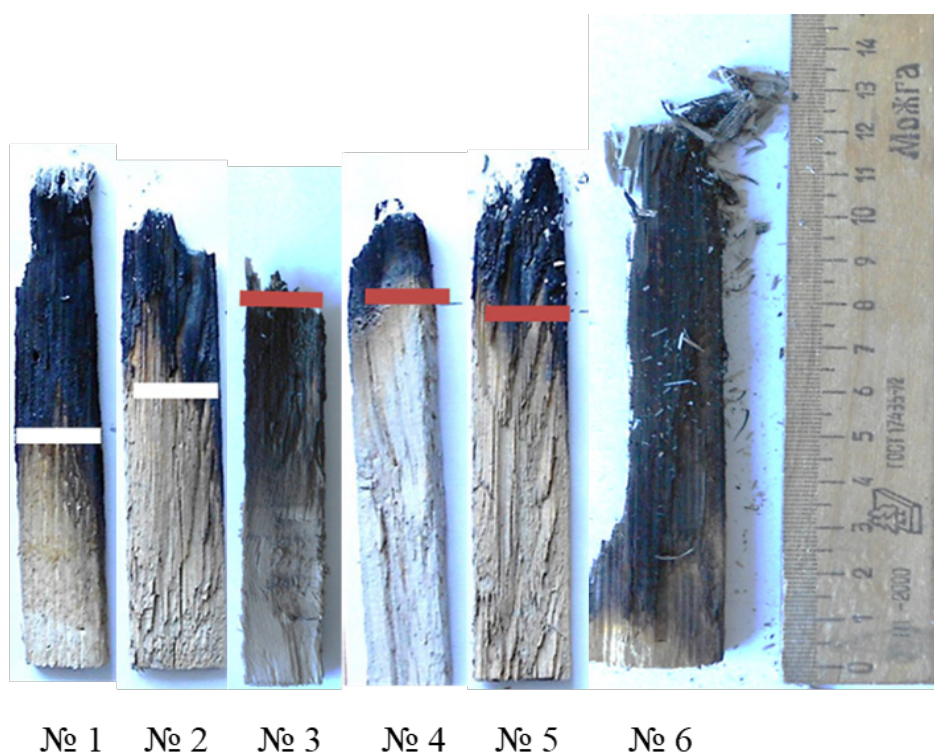


Рис. 1. Внешний вид экспериментальных образцов после испытаний в пламени портативной горелки

Для наглядности представления результатов экспериментов и сравнения огнезащитных свойств пропиточных составов построена гистограмма (рис. 2).

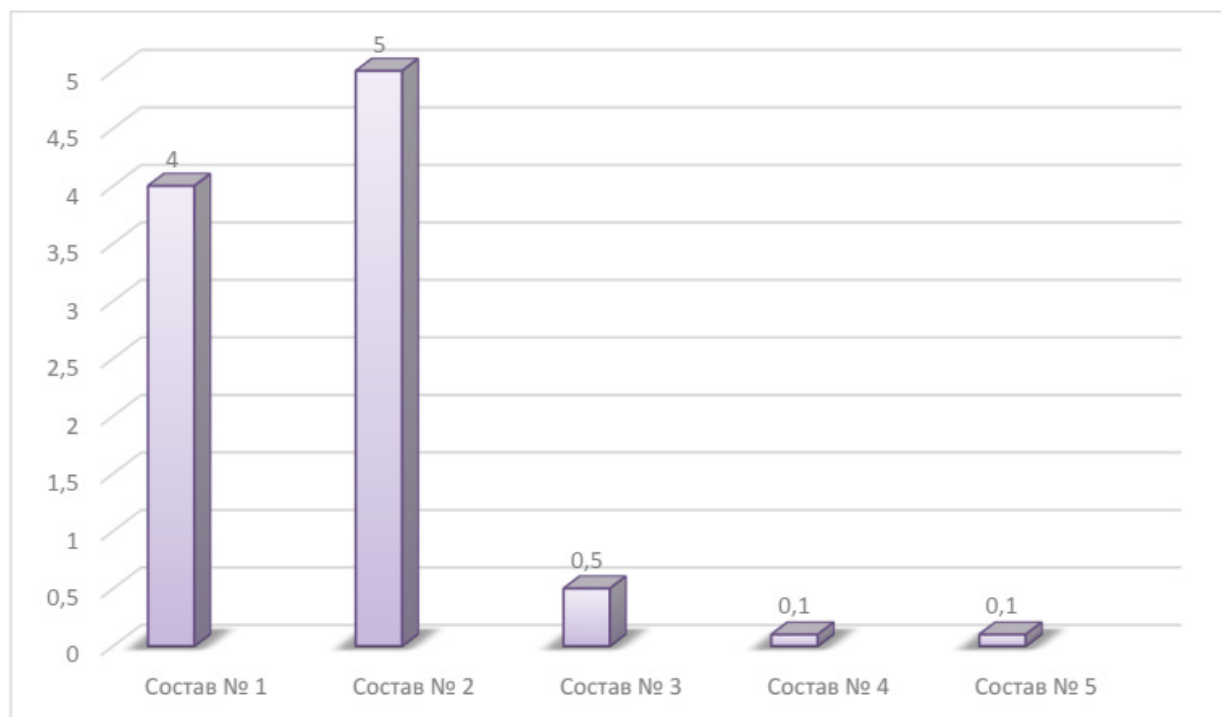


Рис. 2. Скорость выгорания участков образцов, обработанных исследуемыми составами

Как видно из гистограммы, среди испытанных образцов, наименьшее значение v ($0,1 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$) у составов, содержащих сульфат калия.

Результаты испытаний по определению группы огнезащитной эффективности образцов № 3, № 4 и № 5, показавших наилучший результат предварительных испытаний, представлены в таблице 4.

Таблица 4

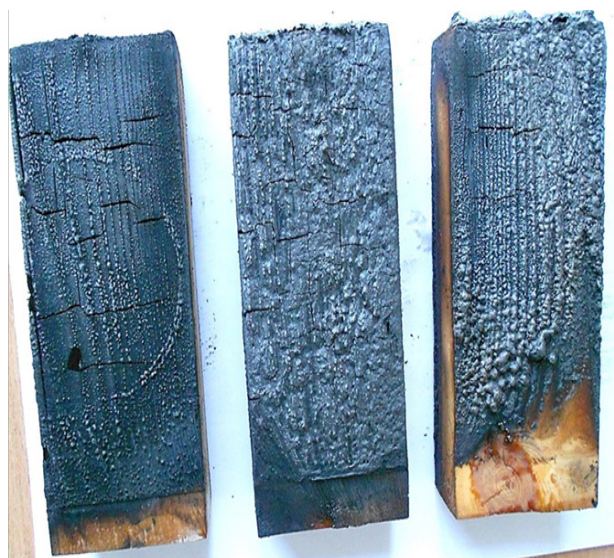
Результаты испытаний образцов

Номер образца	Масса образца m , г		Потеря массы образца Δm , %	Расход P , г/м ²
	до испытания	после испытания		
№ 3	123,00	107,01	13	366
№ 4	117,84	106,14	10	348
№ 5	116,93	106,78	9	324

Наименьшие значения Δm (9 и 10 %) имеют составы, включающие сульфат калия.

Во время проведения испытаний образцов пламенного горения в зоне и вне зоны воздействия пламени газовой горелки, наличия дыма не наблюдалось. После отключения газовой горелки самостоятельного горения (тления)

испытанных образцов не зафиксировано. Внешний вид экспериментальных образцов № 3, № 4 и № 5 после испытаний по определению группы огнезащитной эффективности в установке «Керамическая труба» представлен на рисунке 3.



образец № 3 образец № 4 образец № 5

Рис. 3. Внешний вид экспериментальных образцов после испытаний в установке «Керамическая труба»

На основании полученных результатов сделан вывод об эффективности введения сульфата калия в пропиточные составы, содержащие аммонийные соли, для снижения горючести древесины.

Вывод. Экспериментальные исследования по оценке огнезащитной эффективности пропиточных составов на основе сульфатсодержащих соединений позволили установить, что введение сульфата калия в системы «диаммонийфосфат – сульфат аммония» и «диаммонийфосфат – моноаммонийфосфат» наиболее эффективно снижает горючесть древесины.

Список литературы / References

1. Газизов, А. М. Разработка оптимального огнезащитного состава для сосны / А. М. Газизов, А. М. Садыкова, Р. Г. Ахмаров // Нефтегазовое дело. – 2022. – № 3. – С. 5 – 17. URL: <http://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2022-3-5-17> (дата обращения: 24.11.2023).

Gazizov, A. M., Sadykova, A. M., Akhmarov, R. G. *Razrabotka optimalnogo ognezashchitnogo sostava dlya sosny* [Development of optimal flame-retardant compound for pine wood]. *Neftegazovoye delo*, 2022, no. 3, pp. 5-17. Available at: <http://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2022-3-5-17> (accessed 24.11.2023). (In Russian)

2. Гайнцева, А. А. Защита деревянных конструкций от огня: пропитка и огнезащитные составы / А. А. Гайнцева, С. Г. Аксенов, И. Э. Лукьянова // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2022. – Т. 11-2(74). – С. 88–90. – DOI:10.24412/2500-1000-2022-11-2-88-90.

Gayntseva, A. A., Aksenov, S. G., Lukyanova, I. E. *Zashchita derevyannykh konstruktsey ot ognya: propitka i ognezashchitnye sostavy* [Fire protection of wooden constructions: impregnating and flame-retardant compounds]. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2022, vol. 11-2(74), pp. 88-90. DOI:10.24412/2500-1000-2022-11-2-88-90. (In Russian)

3. Нуркулов Ф. Н., Фосфор-борсодержащие олигомерные антипирены для древесины и древесных композиционных материалов / Ф. Н. Нуркулов, А. Т. Джалилов // V Международная конференция-школа по химии и физикохимии олигомеров : Сборник тезисов докладов. (Волгоград, 1–6 июня 2015 г.). – Москва – Черноголовка – Волгоград, 2015. – С. 241.

Nurkulov, F. N., Dzhililov, A. T. *Fosfor-borsoderzhashchie oligomernye antipireny dlya drevesiny i drevesnykh kompozitsionnykh materialov* [Phosphorous and boracium containing oligomeric antipyrines for wood and wooden composite materials]. *V Mezhdunarodnaya konferentsiya-shkola po khimii i fizikokhimii oligomerov : abstracts collection*. (Volgograd, June 1-6, 2015). Moscow – Chernogolovka – Volgograd, 2015, p. 241. (In Russian)

4. Пожарная опасность деревянных конструкций с глубокой пропиткой огнебиозащитными составами / Д. М. Нигматуллина, Е. Ю. Полищук, А. Б. Сивенков, Е. И. Стенина, В. М. Балакин // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 3(73). – С. 64 – 71.

Nigmatulina, D. M., Polishchuk, Ye. Yu., Sivenkov, A. B., Stenina, Ye. I., Balakin, V. M. *Pozharnaya opasnost derevyannykh konstruktsey s glubokoy propitkoy ognebiozashchitnymi sostavami* [Fire hazard of wooden constructions deeply impregnated with bio-based flame-retardants]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2017, no. 3(73), pp. 64-71. (In Russian)

5. Повышение огнестойкости деревянных конструкций путем применения огнебиозащитных пропиточных составов / О. В. Арцыбашева, Е. А. Анохин, Е. Ю. Полищук, А. Б. Сивенков, С. Б. Сивенков // Полимерные материалы пониженной горючести : материалы VIII Международной конференции. – Волгоград : Изд-во ВГТУ, 2017. – С. 248 – 251.

Artsybasheva, O. V., Anokhin, Ye. A., Polishchuk, Ye. Yu., Sivenkov, A. B., Sivenkov, S. B. *Povyshenie ognestoykosti derevyannykh konstruktsey putyom primeneniya ognebiozashchitnykh propitochnykh sostavov* [Fire-proof enhancement of wooden constructions applying bio-based flame-retardant compounds]. *Polimernye materialy ponizhennoy goryuchesti : proceedings of the VII International conference*, Volgograd, VGTU Press, 2017, pp. 248-251. (In Russian)

6. Мнускина, Ю. В. Средства огнезащиты древесины / Ю. В. Мнускина, А. Р. Руденский // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2021. – № 2(9). – С. 258 – 263.

Mnuskina, Yu. V., Rudenskiy, A. R. *Sredstva ognезashchity drevesiny* [Fire protection products for wood]. *Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost: problemy i puti sovershenstvovaniya*, 2021, no. 2(9), pp. 258-263. (In Russian)

7. Нуркулов, Ф. Н. Исследование огнезащитной эффективности олигомерных антипиренов для древесины и полимерных материалов / Ф. Н. Нуркулов // *Universum: технические науки*. – 2016. – № 10(31). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/3776> (дата обращения: 24.11.2023).

Nurkulov, F. N. *Issledovaniye ognезashchitnoy effektivnosti oligomernykh antipirenov dlya drevesiny i polimernykh materialov* [Study on fire-proof efficiency of oligomeric antipyrines for wood and polymeric materials]. *Universum: tekhnicheskie nauki*, 2016, no. 10(31). Available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/3776> (accessed 24.11.2023). (In Russian)

8. Хамдамова, Ш. Ш. Влияние соотношения моноаммонийфосфата к сульфату аммония на процесс вспучивания в огнезащитных вспучивающихся покрытиях / Ш. Ш. Хамдамова, И. Н. Каримов, М. М. Умарова // *Universum: технические науки*. – 2021. – № 12(93). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sootnosheniya-monoammoniyfosfata-k-sulfatu-ammoniya-na-protsess-vspuchivaniya-v-ognezashchitnyh-vspuchivayushchih-sya> (дата обращения: 24.11.2023).

Khamdamova, Sh. Sh., Karimov, I. N., Umarova, M. M. *Vliyanie sootnosheniya monoammoniyfosfata k sulfatu ammoniya na protsess vspuchivaniya v ognезashchitnykh vspuchivayushchikhsya pokrytiyakh* [Monoammonium phosphate and ammonium sulphate ratio effect on intumescence process in intumescent flame-retardant coatings]. *Universum: tekhnicheskie nauki*, 2021, no. 12(93). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sootnosheniya-monoammoniyfosfata-k-sulfatu-ammoniya-na-protsess-vspuchivaniya-v-ognezashchitnyh-vspuchivayushchih-sya> (accessed 24.11.2023). (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 20.12.2023
Дата опубликования 19.03.2024

Viktoria Valentinovna Lebedeva, head of department; e-mail: v.lebedeva@80.mchs.gov.ru;

Igor Nikolayevich Nepochatykh, scientific associate; e-mail: tamdoka@mail.ru;

Oleg Vladimirovich Khraponenko, scientific associate; e-mail: o.khraponenko@80.mchs.gov.ru;

Federal State Institution "The Scientific Research Institute "Respirator" EMERCOM of Russia"
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-55

EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF SULFATE-CONTAINING COMPOUNDS EFFECT ON REDUCTION OF WOOD FLAMMABILITY

Objective. To conduct the experimental comparative analysis for assessing the sulfate-containing compounds effect on fire-proof efficiency of impregnating compounds in order to enhance their characteristics.

Methods. Determination of fire rating and wood flammability by exposing samples to the burner open flame.

Results. The variety of sulphate ammonium-, monoammonium phosphate-, sulphate and potassium diphosphate additive diammonium phosphate-, ferric sulphate ammonium-based mixtures were analyzed and the comparative assessment of their effect on the wood fire-hazard features was conducted. It has been corroborated that the implementation of potassium sulphate into the “diammonium phosphate – ammonium sulphate” and “diammonium phosphate – monoammonium phosphate” systems facilitates maximum fire-proof efficiency evident in the minimal mass loss and experiment samples combustion rate.

Scientific novelty. The effect of potassium sulphate in the “diammonium phosphate – ammonium sulphate” and “diammonium phosphate – monoammonium phosphate” systems on the reduction of wood flammability was experimentally confirmed for the first time ever.

Practical novelty. Utilizing the potassium sulphate as an antipyrine in the flame-retardant impregnating compound will make it possible to reduce the risk of combustion of the wooden elements and constructions with the deficient flame-resistance due to the high flame spread rate.

Keywords: *antipyrine; fire-proof efficiency; fire safety; fire-protection of wood; mass loss; impregnating compound.*

Citation. Lebedeva V. V., [Nepochatykh I. N.](#), Khraponenko O. V. Experimental assessment of sulfate-containing compounds effect on reduction of wood flammability. Nauchnyy vestnik NII “Respirator”, 2024, no. 1(61), pp. 96-105. EDN KLPURW.

УДК 614.842.86"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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАБОТЫ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МЧС В УСЛОВИЯХ ВОЕННОГО КОНФЛИКТА

Цель. Обосновать методологические подходы к исследованию закономерностей, определяющих особенности выполнения поставленных перед ГУ МЧС России по ДНР задач в условиях военного конфликта.

Методика. Анализ, обобщение, систематизация материалов, определяющих особенности выполнения поставленных перед ГУ МЧС России по ДНР задач в условиях военного конфликта.

Результаты. Для обоснования методологических подходов к исследованию закономерностей, определяющих особенности выполнения поставленных перед МЧС задач в условиях военного конфликта, рассмотрен научно-методический подход оценки возможностей пожарной части города по тушению пожаров в условиях военного конфликта, дана оценка полноты исследуемых рискообразующих факторов.

Научная новизна. Впервые обоснованы особенности методологии оценки пожарной опасности защищаемых территорий в условиях военного конфликта. Выполнен критический анализ внешних рискообразующих факторов, влияющих на качество выполнения поставленных перед ГУ МЧС России по ДНР задач по тушению пожаров в условиях военного конфликта.

Практическая значимость. Разработан и выделен методологический подход к исследованию закономерностей, определяющих особенности выполнения поставленных перед МЧС задач в условиях военного конфликта.

Ключевые слова: *пожарная часть; воздействие обычных средств поражения; пожарный риск; время прибытия; пожарно-спасательное подразделение; скорость движения; пожарный автомобиль; критерии образования.*

Для цитирования: Добрякова Е. И. Исследование закономерностей работы подразделений МЧС в условиях военного конфликта // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 1(61). – С. 106–117. EDN LDZLSS.

Постановка проблемы. Статья посвящена исследованию особенностей процесса функционирования служб МЧС в условиях военного конфликта. В качестве основного направления выбраны исследования подходов к организации пожарно-спасательных служб в мирное и военное время и поиску проблем, определяющих их отличия.

Анализ последних исследований. Авторы статьи [1] подчеркивают, что проведение аварийно-спасательных работ, локализации и ликвидации пожаров на объектах защиты необходимо в мирное и в военное время. Следовательно, для успешного выполнения задач, поставленных перед МЧС в военное время, необходимо еще в мирное время обеспечить:

- личный состав МЧС оснащением и оборудованием для защиты от воздействия поражающих факторов;
- изучение приемов защиты от воздействия современных средств поражения в рамках тактической подготовки личного состава;
- наличие 100 %-го резерва пожарной техники.

Авторы [1] подчеркивают необходимость проведения еще в мирное время мониторинга возможных сценариев развития пожарной обстановки в городах при применении противником современных средств поражения. Очевидно, что в зависимости от результатов исследований вероятностных сценариев развития событий зависит и направленность управленческих решений по организации функционирования подразделений МЧС в условиях военного конфликта. Однако для вероятностной оценки развития событий необходимо наличие статистических данных. В силу сложившейся ситуации объектом для исследования может служить уникальный опыт организации деятельности ГУ МЧС России по ДНР в условиях многолетнего военного конфликта. По инициативе и при информационной поддержке руководства МЧС ДНР на основе результатов статистической обработки данных анализа действий пожарных подразделений при тушении пожаров [2, 3] с 2018 г. в НИИ «Респиратор» МЧС ДНР проводили исследования по разработке критериев и методов оценки пожарной обстановки и устранению выявленных проблем в населенных пунктах на территории ДНР.

Научным сообществом Российской Федерации со второй половины XX в. исследования уровня пожарной опасности населенных пунктов осуществляли методами многомерного статистического анализа путем оценки интегральных пожарных рисков [4]. Оценка эффективности деятельности подразделений МЧС зависела от результатов анализа рискообразующих факторов, итоги учитывали при принятии решений о необходимом количестве и местах дислокации пожарно-спасательных подразделений. Очевидно, для обоснования особенностей методологических подходов к организации деятельности подразделений МЧС в условиях военного конфликта необходимо провести исследования по оценке дополнительных рисков, определяемых воздействием внешней среды на работу системы.

Цель исследования – обосновать методологические подходы к исследованию закономерностей, определяющих особенности выполнения поставленных перед ГУ МЧС России по ДНР в условиях военного конфликта.

Результат исследований. Для оценки сложности поставленных перед ГУ МЧС России по ДНР задач (рис. 1), решаемых в условиях военного конфликта, целесообразно проанализировать все рискообразующие факторы, влияющие на успешность их выполнения.

В поисках закономерностей, определяющих особенности выполнения поставленных перед ГУ МЧС России по ДНР задач по тушению пожаров и проведению связанных с ними первоочередных аварийно-спасательных работ в условиях военного конфликта, обратимся к статистическим данным. За 2023 г. в ГУ МЧС России по ДНР поступило 9523 сообщения о пожарах (в среднем ежедневно 26 сообщений). Всего на 8068 учтенных пожарах погибли 216 человек (в том числе 5 детей), получили травмы 124 человека, спасены 115 человек.

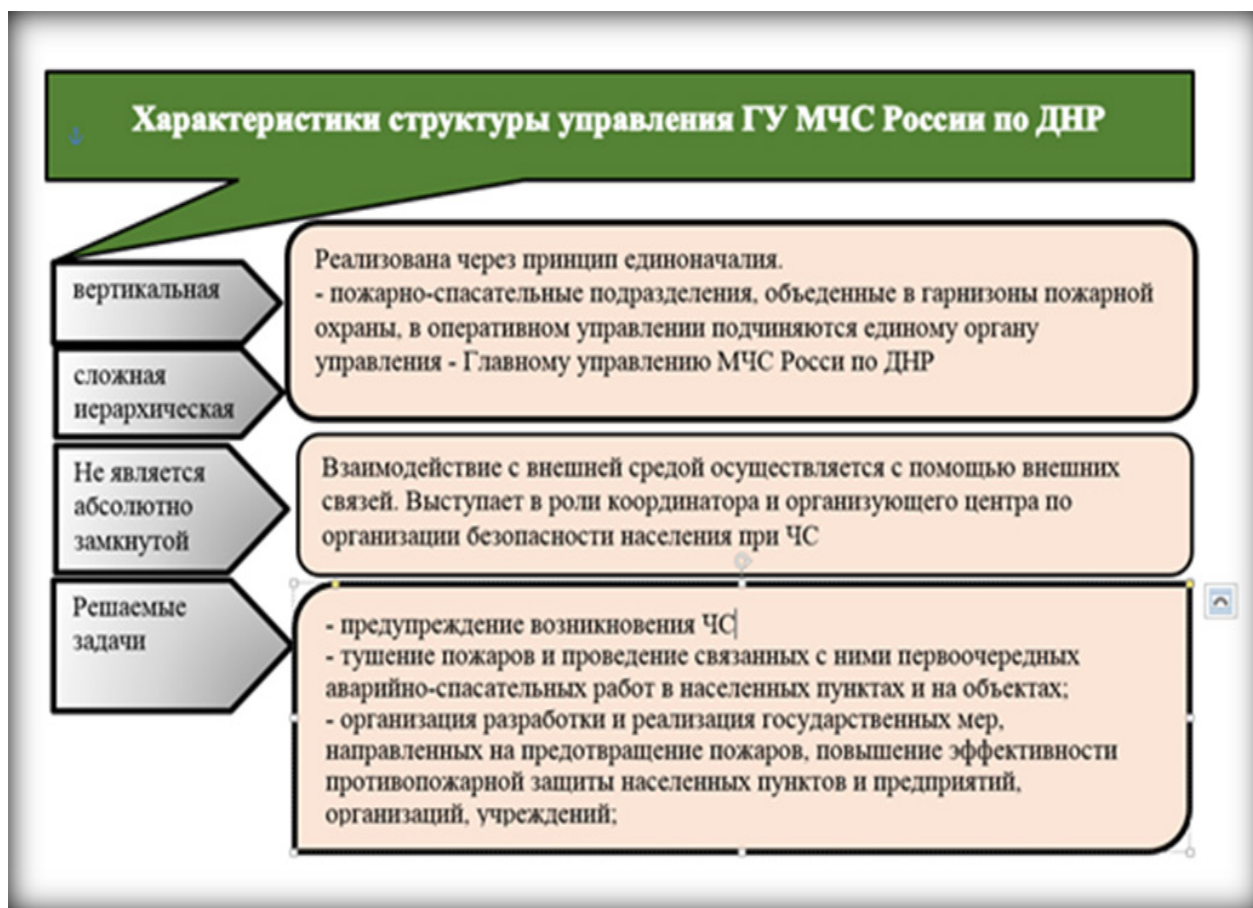


Рис. 1. Характеристики структуры управления ГУ МЧС России по ДНР

В работе [5] отмечается, что снижение пожарной опасности защищаемой территории возможно при обеспечении:

- нормативного времени прибытия пожарно-спасательных подразделений к месту вызова;
- достаточного для ликвидации пожара и экономически обоснованного количества сил и средств;
- соответствия нормативных и фактических показателей интенсивности тушения и расхода огнетушащих веществ, необходимых для ликвидации пожара;
- безопасной работы пожарных подразделений.

Очевидно, что приведенные выше условия характерны для выполнения поставленных перед МЧС задач в мирное и в военное время. При этом пожарную опасность в условиях военного конфликта следует оценивать с учетом вероятности одновременного наступления непредсказуемых событий на рассматриваемой территории: пожара и обстрела. Следовательно, при оценке пожарной опасности необходимо учитывать риски, характерные для мирного времени, и риски, определяющие вероятность наступления опасных ситуаций в условиях военного конфликта.

Согласно статистическим данным, в течение 2023 г. на территории ДНР вследствие обстрелов возникло 707 пожаров (в среднем 2 пожара в день), на которых погибли 17 человек. Обстрелы территории ДНР осуществляются ежедневно (в среднем 200 снарядов в день). Следовательно, ежедневно подразделения МЧС России по ДНР выполняют поставленные перед ними задачи в условиях угрозы воздействия взрывоопасных предметов. Перечень внешних рискообразующих факторов, влияющих на качество выполнения поставленных перед ГУ МЧС России по ДНР задач по тушению пожаров, приведен на рисунке 2.



Рис. 2. Перечень внешних рискообразующих факторов, влияющих на качество выполнения поставленных перед ГУ МЧС России по ДНР задач по тушению пожаров

Научным сообществом [4–8] обстановка с пожарами в мирное время исследуется путем расчетов комплекса опасностей для регионов (интегральных пожарных рисков). В основе методологии лежит оценка опасностей для жизни и здоровья человека, определяемая воздействием опасных факторов пожара. Исследуется степень вероятности для человека:

- оказаться в условиях пожара (R_1 , пожар/чел. год);
- погибнуть при пожаре (R_2 , жертва/пожар);
- погибнуть при пожаре в течение года (R_3 , жертва/чел. год).

С целью исследования обстановки с пожарами в таблице выполнена сравнительная оценка интегральных пожарных рисков Российской Федерации, ДНР (приведены данные с учетом пожаров, возникших вследствие обстрелов) и Израиля (выбор страны сделан с учетом того, что на территории возможно возникновение пожаров вследствие обстрелов).

Таблица

Сравнительная оценка интегральных пожарных рисков

Страна/ регион	Население Q , тыс. чел	Среднее количество в год		Интегральные пожарные риски			Источник информации
		пожаров $N_{\text{п}}$, <i>пожар/год</i>	погибших на пожарах $N_{\text{г}}$, <i>жертва/год</i>	<i>пожар/10³ чел. год</i> $R_1 = \frac{N_{\text{п}}}{Q}$	<i>жертва/ 10² пожаров</i> $R_2 = \frac{N_{\text{г}}}{N_{\text{п}}}$	<i>жертва/ 10⁵ чел. год</i> $R_3 = \frac{N_{\text{г}}}{Q}$	
Россия	146781	268435	8270				[3]
ДНР	2200	8856	233	4,03	2,03	10,57	[7]
Израиль	9291	48395	19	5,2	0,039	0,2	[3]

Как следует из таблицы 1, риск для человека оказаться в условиях пожара на территориях Израиля и ДНР сопоставимый. Наибольший риск для человека погибнуть на пожаре в течение года – на территории ДНР.

Очевидно, что на численные показатели рискообразующих факторов, используемых для оценки рисков возникновения пожаров, оказывают влияние условия выполнения боевых задач подразделениями МЧС России по ДНР. Минимизация материального ущерба и риска гибели людей на пожаре зависит от времени прибытия пожарных подразделений, их численности и т.д. При выполнении боевых задач в условиях военного конфликта существует риск нанесения повреждений пожарной технике, как следствие, приостановка ее следования к месту вызова и увеличение времени свободного горения. Следовательно, в рассматриваемом случае не представляется возможным приступить к тушению пожара в предусмотренные в мирное время временные нормативы прибытия и риск распространения пожара увеличивается. Автор считает, что в качестве направления проводимого исследования целесообразно разделить рискообразующие факторы на группы по видам рисков. Для сравнительной оценки пожароопасной обстановки и условий выполнения поставленных перед МЧС задач следует ввести комплексный сравнительный показатель $K_{\text{м}}^{\text{в}}$, определяющий различие пожарных рисков в мирное время $R_i^{\text{м}}$ и в военное время $R_i^{\text{в}}$.

Такой комплексный показатель можно представить формулой

$$\prod_{i=1}^n \frac{R_i^{\text{в}}}{R_i^{\text{м}}} = K_{\text{м}}^{\text{в}}.$$

Вопросы оценки уровня пожарной опасности с помощью комплексного показателя [6] использовали применительно к городам и сельской местности. Для характеристики опасностей, угрожающих функционированию сложных систем в условиях военного конфликта, целесообразно выделить локальные риски, свойственные этим системам, в том числе риск потери боеспособности пожарно-спасательных подразделений, риск повреждения обстрелами дорожного полотна, риск невозможности использования противопожарного водопровода из-за отсутствия воды, угроза для жизни личного состава подразделений из-за обстрелов.

В работе [9] в качестве анализа проблемы сохранения боеспособности пожарно-спасательных подразделений при принятии управленческих решений авторы предложили метод оценки возможностей пожарной охраны по ликвидации пожаров в условиях военного конфликта, в основу которого положена оценка устойчивости здания пожарного депо и пожарной техники к воздействию обычных средств поражения (далее – ОСП), то есть оружия, основанного на использовании энергии взрывчатых веществ или зажигательных смесей. Методика определения возможности пожарной части выполнять задачи по тушению пожаров после воздействия ОСП основана на расчетах для крайних и среднего участков здания пожарного депо. Для наглядности порядка осуществления расчетов, приведенных в источнике [9], автор разработал блок-схему расчетов по оценке возможностей пожарной части по тушению пожаров после воздействия ОСП для средней части здания (рис. 3) с учетом избыточного давления во фронте воздушной ударной волны (далее – ВУВ).

На втором этапе расчетов [7] определяют обобщенный показатель устойчивости пожарных машин по формуле

$$\xi_{\text{то}} = 1,25 \frac{\Delta P_{\text{ф.яв}}}{\Delta P_{\text{ф.то}}^*} K_1 K_2,$$

где $\Delta P_{\text{ф.то}}^*$ – избыточное давление во фронте ВУВ, вызывающее выход из строя пожарных машин (их сильные повреждения);

K_1 – коэффициент, характеризующий воздействие на машины обломков здания при его разрушении. Численные показатели зависят от обобщенного показателя устойчивости здания $\xi_{\text{зд}}$;

K_2 – коэффициент, учитывающий изменение параметров ВУВ при затекании ее в здание.

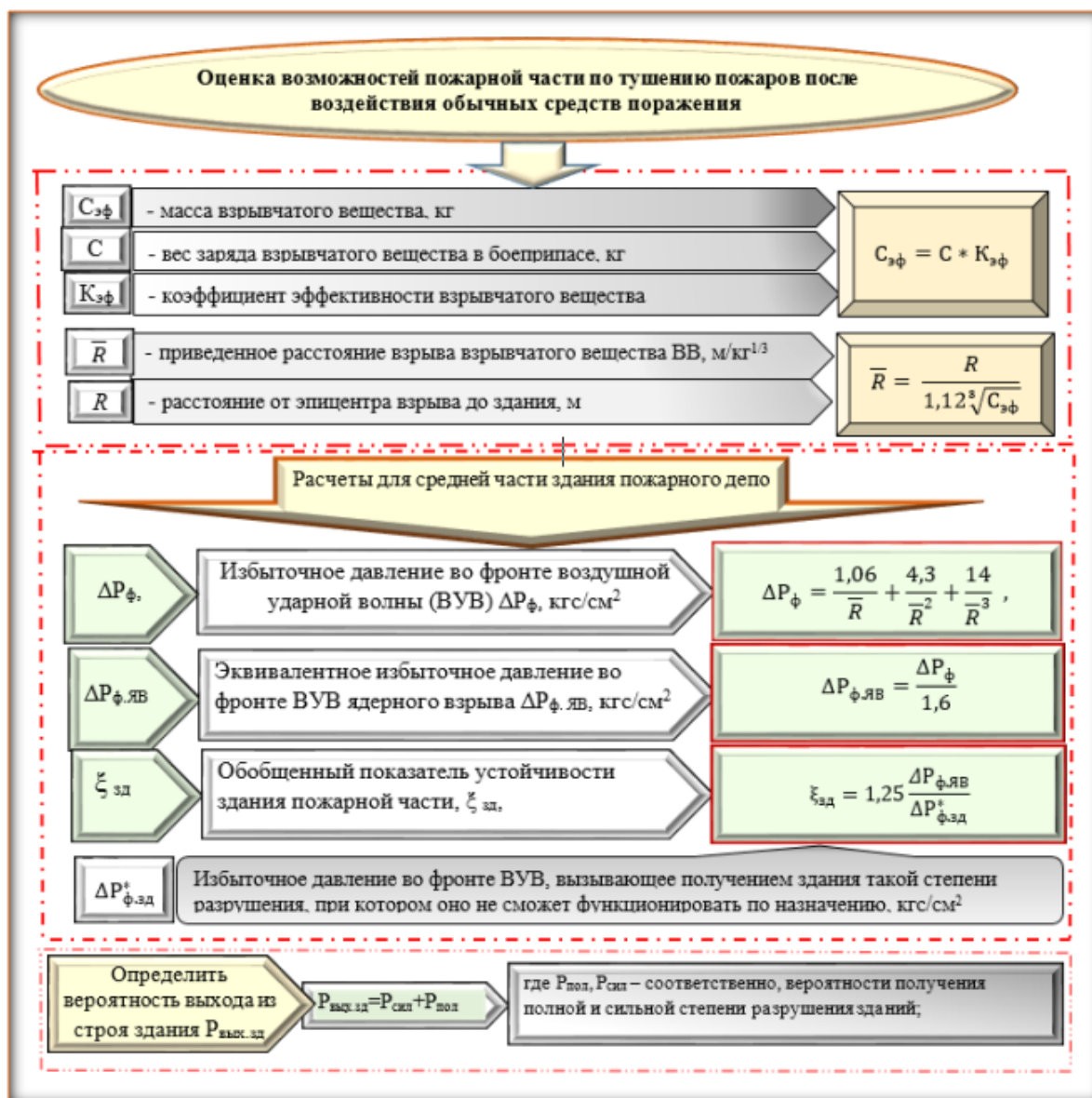


Рис. 3. Блок-схема расчетов по оценке возможностей пожарной части по тушению пожаров после воздействия ОСП для средней части здания

Вероятность выхода из строя пожарной техники определяют как сумму вероятностей получения полной и сильной степени разрушения здания. Возможность пожарной части по тушению пожаров $Q_{ц}$ определяют как произведение вероятностей непоражения людей $q_{пер}$ и пожарной техники $q_{то}$, она зависит от степени разрушения здания. Следовательно, в основу исследований положена гипотеза, что устойчивость здания пожарного депо обеспечивает сохранность пожарной техники от повреждений вследствие воздействия фронта ВУВ.

Однако, как показывают проведенные автором исследования статистических данных за 2022–2023 гг. о количестве пострадавших от попадания ОСП сотрудников пожарно-спасательных подразделений и поврежденной пожарной

техники, расчет вероятности непоражения людей и пожарной техники на базе устойчивости здания пожарного депо можно рассматривать лишь как частный случай из вероятностных событий (рис. 4).



Рис. 4. Анализ мест получения травм сотрудниками МЧС России по ДНР в 2023 г.:

■ % от общего числа ■ количество пострадавших, чел.

Как следует из анализа (рис. 4), наибольшее количество травм (в том числе смертельных), получено сотрудниками МЧС на пожаре, при проведении АСР и ПСР вследствие воздействия на личный состав подразделений поражающих элементов от повторных обстрелов мест пожара. Наблюдается тенденция использования БПЛА для точечного сброса взрывоопасных предметов на технику и личный состав подразделений.

На основании результата анализа, приведенного на рисунке 2, расчет вероятности опасного события $P_{\text{тр}}(t)$ в течение расчетного периода τ (за 2023 г.) в зависимости от количественной оценки частоты травматизма $\lambda_{\text{тр}}$ вследствие попадания взрывоопасных предметов проводят по формуле [10]

$$P_{\text{тр}}(t) = \frac{(\lambda_{\text{тр}} \tau)^k}{k!} e^{-\lambda_{\text{тр}} \tau}.$$

Выводы. Исследования подходов к организации пожарно-спасательных служб МЧС, проведенные вследствие изменения пожароопасной обстановки на территории ДНР за период длительного военного конфликта, показали:

- положенная в основу исследований [8] гипотеза о том, что устойчивость здания пожарного депо обеспечивает сохранность пожарной техники от повреждений вследствие воздействия фронта ВУВ, является лишь частным случаем из вероятностных сценариев развития событий;

- расчетный риск повреждения пожарной техники и потери среди личного состава пожарно-спасательных подразделений на пожаре при проведении АСР и ПСР максимально высокий;
- противник путем артиллерийских обстрелов и сбросов взрывоопасных предметов с БПЛА на пожарную технику и личный состав пожарно-спасательных подразделений пытается препятствовать ликвидации пожаров и обеспечить максимальный ущерб от них;
- отсутствие воды в системе противопожарного водопровода требует привлекать большее количество пожарной и другой техники для обеспечения необходимого для ликвидации пожара количества воды (подвоза ее «челночным» методом), что повышает риск повреждения техники.

Список литературы / References

1. Калайдов, А. Н. Организация тушения пожаров при военных конфликтах / А. Н. Калайдов, А. Г. Заворотный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2005. – С. 85 – 88. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-tusheniya-pozharov-pri-voennyh-konfliktah> (дата обращения: 20.01.2024).

Kalaydov, A. N., Zavorotnyy, A. G. *Organizatsiya tusheniya pozharov pri voennykh konfliktakh* [Organization of extinguishing the fires in conditions of war conflicts]. *Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya*, 2005, pp. 85-88. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-tusheniya-pozharov-pri-voennyh-konfliktah> (accessed 20.01.2024) (In Russian)

2. Костямин, Д. И. Обоснование количества пожарных частей / Д. И. Костямин, Д. В. Мотов, Е. И. Добрякова // Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности : международная научно-практическая конференция (18–19.10.2018) : сборник тезисов докладов. – Москва : Академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 262 – 267. EDN: YUZXXKX.

Kostyamin, D. I., Motov, D. V., Dobryakova, Ye. I. *Obosnovanie kolichestva pozharnykh chastey* [Substantiation of fire squadrons number]. *Istoricheskiy opyt, sovremennye problemy i perspektivy obrazovatelnoy i nauchnoy deyatel'nosti v oblasti obespecheniya pozharnoy bezopasnosti* : international scientific and practical conference (October 18-19, 2018) : collection of theses. Moscow, Akademiya GPS MChS Rossii Press, 2018, pp. 262-267. EDN: YUZXXKX. (In Russian)

3. Захаров, В. А. Обоснование необходимого количества пожарноспасательных подразделений и мест их дислокации / В. А. Захаров, С. А. Нека, Е. И. Добрякова // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2022. – № 1(59). – С. 44 – 52.

Zakharov, V. A., Neka, S. A., Dobryakova, Ye. I. *Obosnovanie neobkhodimogo kolichestva pozharnospasatelnykh podrazdeleniy i mest ikh dislokatsii* [Substantiation

of required number of fire and rescue divisions and their dislocation]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator"*, 2022, no. 1(59), pp. 44-52. (In Russian)

4. Попков, С. Ю. Методика оценки пожарных рисков в городах и сельской местности России / С. Ю. Попков // Технологии техносферной безопасности. – 2011. – № 5(39). – С. 1 – 11. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-5/04-05-11.ttb.pdf> (дата обращения: 20.01.2024).

Popkov, S. Yu. *Metodika otsenki pozharnykh riskov v gorodakh i selskoy mestnosti Rossii* [Methodology for assessment of fire risks in cities and countryside of Russia]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2011, no. 5(39), pp. 1-11. Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-5/04-05-11.ttb.pdf> (accessed 20.01.2024). (In Russian)

5. Оценка пожарного риска с учетом действий пожарных подразделений // Д. А. Вечтомов, А. Б. Ичмелян, Л. В. Краснова, С. В. Михайленко, А. В. Подгрушный // Технологии пожарной безопасности. – 2021. – Т. 18, № 3(69). – С. 61 – 65. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-pozharnogo-riska-s-uchetom-deystviy-pozharnyh-podrazdeleniy> (дата обращения: 20.01.2024).

Vechtomov, D. A., Ichmelyan, A. B., Krasnova, L. V., Mikhaylenko, S. V., Podgrushnyy, A. V. *Otsenka pozharnogo riska s uchyotom deystviy pozharnykh podrazdeleniy* [Fire risk assessment factoring in actions of fire-fighting units]. *Tekhnologii pozharnoy bezopasnosti*, 2011, vol. 18, no. 3(69), pp. 61-65. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-pozharnogo-riska-s-uchetom-deystviy-pozharnyh-podrazdeleniy> (accessed 20.01.2024). (In Russian)

6. Попков, С. Ю. Алгоритм принятия решений по обеспечению пожарной безопасности муниципальных образований на основе комплексного показателя / С. Ю. Попков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – № 8(65). – С. 70 – 76. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-prinyatiya-resheniy-po-obespecheniyu-pozharnoy-bezopasnosti-munitsipalnyh-obrazovaniy-na-osnove-kompleksnogo-pokazatelya> (дата обращения: 20.01.2024).

Popkov, S. Yu. *Algoritm prinyatiya resheniy po obespecheniyu pozharnoy bezopasnosti munitsipalnykh obrazovaniy na osnove kompleksnogo pokazatelya* [Algorithm of decision making on fire safety of municipal structures on the basis of complex index]. *Pozhary i chervychaynye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya*, 2019, no. 8(65), pp. 70-76. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-prinyatiya-resheniy-po-obespecheniyu-pozharnoy-bezopasnosti-munitsipalnyh-obrazovaniy-na-osnove-kompleksnogo-pokazatelya> (accessed 20.01.2024)

7. Брушлинский, Н. Н. Сравнительный анализ обстановки с пожарами в странах мира / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов, М. П. Григорьева // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2022. – № 4. – С. 49 – 55. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-obstanovki-s-pozharami-v-stranah-mira> (дата обращения: 20.01.2024).

Brushlinskiy, N. N., Sokolov, S. V., Grigoryeva, M. P. *Sravnitelnyy analiz obstanovki s pozharami v stranakh mira* [Comparative analysis of fire situation in countries of world]. *Pozhary i chervychaynye situatsii: predotvrashchenie*,

likvidatsiya, 2022, no. 4, pp. 49-55. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-obstanovki-s-pozharami-v-stranah-mira> (accessed 20.01.2024). (In Russian)

8. Бойко, А. В. Анализ пожаров как инструмент статистического наблюдения за пожарами и их последствиями / А. В. Бойко // Мировая наука. – 2022. – № 8(65). – С. 16 – 20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-pozharov-kak-instrument-statisticheskogo-nablyudeniya-za-pozharami-i-ih-posledstviyami> (дата обращения: 20.01.2024).

Boyko, A. V. *Analiz pozharov kak instrument statisticheskogo nablyudeniya za pozharami i ikh posledstviyami* [Fire analysis as a tool of statistical observation of fires and their aftermath]. *Mirovaya nauka*, 2022, no. 8(65), pp. 16-20. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-pozharov-kak-instrument-statisticheskogo-nablyudeniya-za-pozharami-i-ih-posledstviyami> (accessed 20.01.2024). (In Russian)

9. Седнев, В. А. Методика оценки возможностей пожарной части города по тушению пожаров в условиях военного конфликта / В. А. Седнев, А. В. Седнев // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России – 2021. – С. 85 – 88. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-vozmozhnostey-pozharnoy-chasti-goroda-po-tusheniyu-pozharov-v-usloviyah-voennogo-konflikta> (дата обращения: 20.01.2024).

Sednev, V. A., Sednev, A. V. *Metodika otsenki vozmozhnostey pozharnoy chasti goroda po tusheniyu pozharov v usloviyakh voennogo konflikta* [Methodology for assessment of city fire squadron capacities in fire-fighting in conditions of war conflict]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii*, 2021, pp. 85-88. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-vozmozhnostey-pozharnoy-chasti-goroda-po-tusheniyu-pozharov-v-usloviyah-voennogo-konflikta> (accessed 20.01.2024). (In Russian)

10. Попков, С. Ю. Оценка пожарной опасности муниципальных образований на основе комплексного показателя : специальность 05.13.10 – «Управление в социальных и экономических системах» (технические науки) : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сергей Юрьевич Попков. – Москва, 2012. – 27 с. URL: <https://new-disser.ru/avtoreferats/01005456441.pdf> (дата обращения: 20.01.2024).

Popkov, S. Yu. *Otsenka pozharnoy opasnosti munitsipalnykh obrazovaniy na osnove kompleksnogo pokazatelya* [Assessment of fire hazard of municipal structures on the basis of complex index : 05.13.10 “Management of social and economic systems” (technical sciences) specialty : abstract of Candidate of Technical Sciences dissertation / Sergey Yuryevich Popkov]. Moscow, 2012, 27 p. Available at: <https://new-disser.ru/avtoreferats/01005456441.pdf> (accessed 20.01.2024). (In Russian)

*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*

STUDY OF OPERATION REGULARITIES OF EMERCOM DIVISIONS IN CONDITIONS OF WAR CONFLICT

Objective. To provide a rationale for methodological approaches to the study of regularities defining the specifics of fulfilling the tasks assigned to EMERCOM of Russia Head Office in the Donetsk People's Republic in conditions of war conflict.

Methods. Analysis, generalization, systematization of materials forming the specifics of fulfilling the tasks assigned to EMERCOM of Russia Head Office in the Donetsk People's Republic in conditions of war conflict.

Results. The scientific and methodological approach to the assessment of the city fire-fighting unit capacities for extinguishing the fires in conditions of the war conflict has been examined and the assessment of the given risk factors rate has been conducted in order to provide the rationale for the methodological approaches to the study of regularities determinant for specifics of fulfilling the tasks assigned to EMERCOM of Russia Head Office in the Donetsk People's Republic in conditions of war conflict.

Scientific novelty. First time ever the specifics of the methodology for assessing the fire hazard of the territories under protection in conditions of war conflict have been substantiated. The critical analysis has been conducted of the external risk factors effecting the performance of tasks assigned to EMERCOM of Russia Head Office in the Donetsk People's Republic in conditions of war conflict.

Practical value. The methodological approach to study of the regularities defining the specifics of fulfillment of the tasks assigned to EMERCOM of Russia in conditions of war conflict has been developed and determined.

Keywords: *fire-fighting unit; convectional weapons effect; fire risk; arrival time; fire and rescue division; driving speed; fire appliance; criteria for formation.*

Citation. *Dobryakova Ye. I. Study of operation regularities of EMERCOM divisions in conditions of war conflict. Nauchnyy vestnik NII "Respirator", 2024, no. 1(61), pp. 106-117. EDN LDZLSS.*

УДК 622.867.324"Учебный"

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

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УЧЕБНЫХ САМОСПАСАТЕЛЕЙ И МЕТОДИК ОБУЧЕНИЯ С ИХ ПРИМЕНЕНИЕМ

Цель. Исследовать технические параметры применяемых учебных самоспасателей разных производителей, тактику их применения, особенности нормативно-правового регулирования обучения и определить современные тенденции процесса обучения пользованию средств индивидуальной защиты органов дыхания для повышения безопасности гражданского населения.

Методы. Аналитические методы исследований применения учебных самоспасателей.

Результаты. Исследованы учебные самоспасатели для обучения правилам пользования и приобретения практических навыков эксплуатации и разработан учебный самоспасатель для приобретения навыков пользования средствами индивидуальной защиты органов дыхания гражданским населением.

Научная новизна. Разработан учебный самоспасатель, в котором имитация сопротивления дыханию достигается благодаря конструкции имитатора пускового устройства.

Практическая значимость. Результаты исследований позволили определить перспективные пути усовершенствования учебных самоспасателей для обучения правилам пользования и приобретения практических навыков эксплуатации.

Ключевые слова: *дыхательный аппарат; самоспасатель; обучение; тренировка; учебный самоспасатель.*

Для цитирования: Медгаус В. М., Плетенецкий Р. С., Зборщик Л. А., Францев В. И. Анализ технических характеристик учебных самоспасателей и методик обучения с их применением // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 1(61). – С. 118–128. EDN LYRYIL.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. В Российской Федерации в 2022 г., по сравнению с 2021 г., количество пожаров уменьшилось на 12,8 %, погибших при пожарах – на 12,2 %, число людей, получивших травмы при пожарах, – на 11,0 %. Что же касается статистики относительно социально значимых объектов, то на них наблюдалось увеличение количества пожаров на 2,4 %, числа погибших в 0,4 раза, травмированных людей – в 1,7 раза. Рост прямого материального ущерба составил 17,1 % [1].

Анализ причин гибели людей показывает, что основная масса всех погибших (до 80 %) – это люди, получившие отравления угарным газом, то есть токсичными продуктами горения [1]. Поэтому защита органов дыхания от продуктов горения – один из основных факторов сохранения жизни и здоровья людей.

Наряду с оснащением пунктов первичного пожаротушения и объектов с массовым пребыванием людей средствами индивидуальной защиты органов

дыхания большое значение имеет умение правильно ими пользоваться. Аналогичная ситуация наблюдается и в горной промышленности.

Согласно данным исследований [2] после обучения через некоторое время навыки правильного надевания самоспасателей утрачиваются. Это указывает на необходимость уделять внимание регулярному обучению работников правилам пользования самоспасателем.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопрос обучения пользованию средствами защиты органов дыхания поднимают авторы статьи [2]. Рассматривая ситуацию с охраной труда в США, исследователи справедливо отмечают, что наличие самоспасателя под рукой не гарантирует его правильного использования. Результаты исследования поведения людей при авариях, проведенного Национальным институтом охраны труда США, показали, что после обучения навыки правильного надевания самоспасателей забываются. Через три месяца после обучения число людей, выполняющих надевание и включение самоспасателя без ошибок, снижается вдвое. На отдельных шахтах вероятность ошибки могла превышать 50 % (например, не надели носовой зажим 25 %, не включили пусковое устройство 10 %). Поэтому в США созданы имитаторы средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) с дезинфицируемым загубником. Тренировка с ними занимает около 25 мин, после ее проведения через 90 дней большинство шахтеров правильно надевают самоспасатели [2].

Для определения уровня знаний и степени обученности работников в нефтешахтном производственном предприятии «Яреганефть» (далее – НШПП «Яреганефть») среди рабочих основных профессий, занятых в подземных условиях труда, выборочно проведено тестирование на знание правил промышленной безопасности, технологических карт и регламентов на ведение работ в горных выработках. В результате средний процент правильных ответов составил 54,8 %, что, по мнению автора статьи, свидетельствует о недостаточном уровне знаний у работников и необходимости их переподготовки. Наименьший процент правильных ответов был в разделе «Первая помощь», а наибольший процент – в «Технологическом» разделе (62,1 %), однако и этот показатель проверяющие оценили как неудовлетворительный. Поэтому приобретение навыков действия в аварийной ситуации, в том числе применения СИЗОД, очень актуально для промышленно-производственного персонала и гражданского населения.

Цель работы – исследовать технические параметры применяемых учебных самоспасателей разных производителей, тактики их применения, особенностей нормативно-правового регулирования обучения и определить современные тенденции процесса обучения пользованию СИЗОД для повышения безопасности гражданского населения.

Результаты исследований. Уровень практических навыков пользования СИЗОД обуславливается нормативно-правовой базой, регламентирующей обязательность обучения, наличием учебных СИЗОД, позволяющих

выполнять многократные тренировки, и тренировочных полигонов (например, «дымных камер»), максимально имитирующих реальные условия применения.

Для шахтеров в СССР, странах СНГ было создано несколько моделей учебных самоспасателей (авторское свидетельство СССР № 550159, патенты Украины № 8938, России RU 202 090 U1), имеющих массогабаритный имитатор регенеративного патрона и регенеративный патрон, позволяющий дышать в непригодной для дыхания среде. В общем случае такие учебные самоспасатели имеют конструкцию футляра с замком, идентичную рабочему самоспасателю, лицевую часть, допускающую многократную ее дезинфекцию, и имитатор регенеративного патрона (или регенеративный патрон обычно с уменьшенным временем защитного действия).

В горнодобывающей отрасли, где вопросам охраны труда уделяется традиционно большое внимание, практически каждая модель рабочего самоспасателя имеет учебный аналог. В настоящее время в Российской Федерации представлен рабочий тренажер шахтного самоспасателя РТ-ШС, являющийся переснаряжаемым вариантом самоспасателя ШСС-Т, но с меньшим временем защитного действия. Предназначен для тренировок и обучения промышленного персонала для получения устойчивых практических и психологических навыков по правильному использованию штатного самоспасателя ШСС-Т, изучения его устройства и принципа действия. Тренажер РТ-ШС можно использовать многократно с заменой регенеративных патронов.

В 1990-е гг. НИИГД «Респиратор» был разработан ШСС-1Т – учебный вариант шахтного самоспасателя ШСС-1, имитирующий основные приемы включения в аппарат и приведения его в действие, а из физиологических параметров – сопротивление дыханию за счет применения калиброванных отверстий в патрубке гофрированной трубки. Он применялся для обучения и тренировок работников шахт правилам пользования в среде, пригодной для дыхания. При этом при разработке рассматривались и апробировались такие технические решения:

- для имитации температуры вдыхаемого воздуха в самоспасатель устанавливался предварительно нагретый до 60...65 °С патрон, заполненный фарфоровыми или стеклянными бусами;
- для использования учебного самоспасателя в среде, непригодной для дыхания, и с открытой схемой движения воздуха, а также для имитации температуры вдыхаемой газовой дыхательной смеси в самоспасателе устанавливался патрон с гопкалитом (в основном смесь оксидов марганца MnO_2 и меди CuO) из гражданских противогазов типа ГП. Действие гопкалита сводилось к каталитическому ускорению реакции окисления монооксида углерода (CO) до диоксида углерода (CO_2) кислородом воздуха (экзотермическая реакция). Поскольку в среде, пригодной для дыхания, не содержится достаточного количества монооксида углерода, то гопкалитовый патрон не нагревал вдыхаемый из учебного аппарата воздух.

Эти технические решения были рассмотрены, испытаны и после анализа отклонены как нецелесообразные по экономическим соображениям и ввиду сложности выполнения в условиях шахт. В результате было принято решение, что все параметры работающего изолирующего самоспасателя может обеспечить только регенеративный патрон с надпероксидом калия KO_2 .

Учебный (тренировочный) вариант шахтного изолирующего самоспасателя ШСС-1 – ШСС-1Т1, разработанный НИИГД «Респиратор». По внешнему виду, форме, габаритным размерам, массе, порядку вскрытия и включения он соответствует рабочему самоспасателю ШСС-1. Учебный самоспасатель ШСС-1Т1 обеспечивает обучение шахтеров пользованию изолирующим самоспасателем в атмосфере пригодной для дыхания и непригодной для дыхания, в специальных «дымных камерах». Данный самоспасатель позволяет имитировать все действия, связанные со вскрытием, включением, дыханием в изолирующем самоспасателе, воспроизводить воздействие на человека таких физиологических факторов, как сопротивление дыханию, температура и влажность вдыхаемого воздуха, концентрации кислорода и диоксида углерода во вдыхаемом воздухе.

Отличие в конструкции учебного самоспасателя ШСС-1Т1 – наличие двух съемных патронов, один из которых применяется только в среде, пригодной для дыхания, то есть в помещении учебных пунктов, где обучают правилам включения в самоспасатель не более чем за 15 с, а другой патрон – регенеративный, который в составе самоспасателя ШСС-1Т1 используют для тренировок в «дымных камерах», то есть в среде, непригодной для дыхания. При работе с первым патроном схема дыхания в самоспасателе открытая, то есть вдыхают воздух из окружающей среды и выдыхают в окружающую среду, однако имитируют только сопротивление дыханию, как в шахтном самоспасателе ШСС-1. При работе с другим патроном (регенеративным) схема дыхания в самоспасателе закрытая. Самоспасатель ШСС-1Т1 изолирует горнорабочего от вредного воздействия газов «дымной камеры» (концентрация оксида углерода не более 0,004 %) и обеспечивает человека кислородом для дыхания в течение 15...20 мин. При этом имитируют не только сопротивление дыханию, как в первом случае, но и температуру вдыхаемого воздуха и его влажность. В течение 15...20 мин самоспасатель ШСС-1Т1 с регенеративным патроном работает как обычный шахтный изолирующий самоспасатель ШСС-1, то есть кислородсодержащий продукт на основе надпероксида калия (KO_2) в патроне регенерирует газовую дыхательную смесь, схема движения которой – классическая маятниковая. Регенеративный патрон самоспасателя ШСС-1Т1 имеет пусковое устройство, обеспечивающее горнорабочего кислородом для дыхания в первые минуты после включения в самоспасатель. В случае включения в учебный самоспасатель ШСС-1Т1 с регенеративным патроном выявляются лица, которые по каким-либо причинам (физиологическим и т.п.) не переносят дыхания в изолирующем самоспасателе. Регенеративный

патрон используют для одноразового включения и заменяют после каждого использования шахтерами в «дымной камере».

Самоспасатель ШСС-1Т1 не имеет аналогов среди зарубежных учебных самоспасателей. Учебные дыхательные аппараты, разработанные фирмами Drägerwerk AG, Auer-MSA (Германия), – учебные варианты изолирующих самоспасателей OXY-C15G, OXY-SR60B, SSR-16BB, SSR-90, причем в них нет пускового устройства, поглотителя диоксида углерода. С помощью этих аппаратов имитируют основные приемы приведения в действие и включения в самоспасатель, а из физиологических параметров дыхания в аппарате – только сопротивление вдоху и выдоху. Таким образом, эти учебные самоспасатели не могут быть полными аналогами изолирующих самоспасателей [3]. В некоторых других моделях учебных самоспасателей фирма Drägerwerk AG предлагает использовать различные смеси химических веществ, обладающие влагопоглощающими свойствами с экзотермическим эффектом. Очевидно, что такое решение значительно усложняет конструкцию и требует установки надежных фильтров.

Имеется опыт фирмы Auergesellschaft GmbH (MSA) установки в своих учебных аппаратах фильтрующих патронов (снаряженных активированным углем с различными пропитками или гопкалитом) для поглощения определенных токсичных газов и возможности проведения тренировочных упражнений в загазованной среде, но из-за опасности отравления обучающихся и по экономическим причинам было принято решение отказаться от внедрения подобной конструкции.

Для имитации повышения температуры вдыхаемой из самоспасателя газовой дыхательной смеси южноафриканская фирма Afroх установила в свой учебный дыхательный аппарата Afroх Рас специальное электрическое устройство (на автономных элементах питания), имитирующее нагрев вдыхаемого из аппарата воздуха. Значительное превышение времени нагрева до необходимой температуры (30...60 мин) над временем тренировки (до 15 мин) не позволило внедрить подобное решение фирме Drägerwerk AG при разработке учебного самоспасателя.

Разработчик и производитель дыхательных аппаратов в Российской Федерации – ОАО «Росхимзащита» – считает, что их самоспасатели, такие как СПИ-20, СПИ-50, ПДУ-3 и др., используемые для эвакуации населения из зоны пожара, конструктивно просты и не требуют предварительного обучения по применению.

В Чехии была предпринята попытка создания макета учебного аппарата на основе самоспасателя ШС-7, импортируемого из Украины, с имитацией условий дыхания по сопротивлению и температуре вдыхаемого воздуха посредством предварительного нагрева стеклянных бус – наполнителя имитатора регенеративного патрона. Принципиальные решения, осуществленные в этом макете, не позволили его использовать при тренировочных выходах в шахтах

и затрудняли его дезинфекцию. Поэтому дальнейшего развития этот макет не получил.

Разработаны учебные самоспасатели моделей для использования при эвакуации людей во время пожара из мест массового их пребывания. ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» разработан учебный самоспасатель для гражданского населения СГЭ-У, имитирующий последовательность действий по включению в аппарат и массогабаритные показатели рабочего самоспасателя СГЭ, воспроизводящий воздействие на организм человека возникающего при этом сопротивления дыханию. Самоспасатель СГЭ-У по внешней форме, габаритным размерам, массе, конструкции футляра и замка идентичен рабочему (изолирующему) самоспасателю СГЭ, применяемому для выхода лиц, самостоятельно эвакуирующихся при пожаре из мест массового их пребывания. Предназначен для приобретения практических навыков включения в аппарат, то есть повышения уровня подготовленности работников в аварийной ситуации. Сопротивление дыханию создается специальным устройством с калиброванным отверстием, размещенным в имитаторе пускового устройства.

Учебный самоспасатель СГЭ-У (рис.) не содержит химического сорбента, поэтому дыхание в нем осуществляется по открытой схеме. Максимально упрощенная конструкция учебного самоспасателя позволяет многократно использовать его для тренировочных упражнений в пригодной для дыхания среде. Аппарат удобен, дыхание в нем не затруднено.



Рис. Учебный самоспасатель СГЭ-У

Основные технические данные учебного самоспасателя СГЭ-У:

- время защитного действия – неограниченное (от 15 мин и более);
- масса аппарата в положении для учебных занятий – 1,5 кг;
- сопротивление дыханию 0,2...0,8 кПа при норме не более 0,8 кПа (обусловлено подбором размера дроссельного отверстия в специальном устройстве для создания сопротивления).

Техническое обслуживание учебного самоспасателя СГЭ-У удобно: имеется возможность снятия воздухопроводной системы без особых затруднений и проведения дезинфекции.

Сравнение технических параметров СГЭ-У и других самоспасателей представлено в таблице.

Таблица

Технические параметры учебных самоспасателей

Наименование показателя	ШСС-1Т1	РТ-ШС «Учебный»	СГЭ-У
Возможность применения в среде непригодной для дыхания (в «дымной камере»)	да	да	нет
Лицевая часть	загубник, носовой зажим	загубник, носовой зажим, защитные очки	полумаска и капюшон, возможна комплектация защитной маской
Масса, кг, не более	3,0	3,0	2,0
Габаритные размеры, мм	134 × 254	111 × 146 × 248	201 × 113 × 215
Количество тренировочных включений в самоспасатель, циклов, не менее	100	60 (при условии замены патрона после каждой тренировки)	100
Время защитного действия, мин, не менее:			
• в пригодной для дыхания среде	не ограничено	30	не ограничено (от 15 и более)
• в непригодной для дыхания среде	15	30	—
Сопротивление дыханию, кПа, не более	1,0	1,4	0,8
Температура вдыхаемого воздуха, °С, не более	60	60	температура окружающего воздуха
Назначенный срок службы самоспасателя, годы	5	5,5	5
Количество дополнительно поставляемых регенеративных патронов, снаряженных химическим кислородсодержащим продуктом, шт.	6	20	—

Необходимое условие правильного использования СИЗОД – подготовленность горнорабочих (и других пользователей) к самоспасению, что требует предварительного их обучения на тренажерах тактике и способам их использования.

Следует отметить, что в Российской Федерации в настоящее время отсутствует единая программа обучения мерам пожарной безопасности [4, 5, 6], что не может не сказаться негативно на готовности правильно применять СИЗОД в случае пожара гражданским населением (и обслуживающим персоналом). Тогда как в горнодобывающей отрасли обучение использованию самоспасателем обязательно и регламентировано Правилами безопасности в угольных шахтах.

Следует отметить положение дел с обучением в зарубежных странах. Декретом Итальянской Республики «Общие требования пожарной безопасности и управления чрезвычайными ситуациями в местах работы», утвержденным 10 марта 1998 г., установлены обязательные требования к оценке риска пожара на объекте защиты и мерам предупреждения пожаров и борьбы с ними. Все лица, работающие в местах с повышенным риском пожара, а также ответственные за пожарную безопасность или управление чрезвычайными ситуациями, должны пройти специальное обучение с тренировками [7].

Развитие новых технологий, а именно виртуальной реальности (Virtual Reality, VR), открывает новые перспективы в процессе образования и обучения. Ожидается, что в ближайшие годы использование технологий виртуальной реальности в промышленности вызовет пересмотр самой роли технического персонала в производственном процессе, став нормой при профессиональной подготовке, экипировке и оснащении сотрудников.

С недавних пор на НШПП «Яреганефть» для обучения производственного персонала применяются виртуальные тренажеры. Это обязательное условие непосредственного спуска в шахту, которое позволяет рабочему в случае аварийной или внештатной ситуации в шахте уже быть подготовленным к действиям, при которых спасение жизни и здоровья будет успешно осуществлено.

На данном предприятии разработан и применяется в обучении промышленного персонала курс, в котором работнику требуется спуститься в шахту, сделать слив нефти и воды, после чего будет извещение о том, что начался пожар и работнику нужно отключить насос и подняться на поверхность, соблюдая при этом все правила безопасности. После этого представляется чек-лист, в котором указано, сделали вы все правильно или есть недочеты в вашей работе. Также имеется курс обучения с использованием технологий виртуальной реальности – по подготовке самоспасателя и налобного фонаря перед спуском в шахту [8].

Развитие цифровых технологий позволяет создавать имитаторы изолирующих дыхательных аппаратов, тренажеры-регистраторы, управляющие процессом тренировки, регистрирующие и обрабатывающие получаемые данные.

Тренажер [9], имитирующий шахтный самоспасатель с химически связанным кислородом в качестве лицевой части, может оснащаться загубником, полумаской, маской, колпаком в зависимости от вида аппарата, который он имитирует, а его форм-фактор определяется заказчиком и соответствует тем СИЗОД, которые им используются. В состав тренажера-регистратора входит отдельный модуль, регистрирующий частоту сердечных сокращений человека. Основные параметры данного тренажера-регистратора переменные и зависят от имитируемых характеристик конкретного типа рабочего самоспасателя, они могут быть изменены для утяжеления или облегчения работы человека в тренажере.

Управление процессом обучения и тренировки осуществляется посредством смартфона, закрепленного на наручном держателе тренируемого и связанного по радиоканалу с базовой станцией. Задания, которые необходимо выполнить обучаемому, отображаются на экране. Во время тренировки на экране отображаются основные параметры дыхания и пульса человека для самоконтроля [9].

Выводы и перспективы дальнейших исследований.

Учебные самоспасатели различных конструкций предназначены для обучения потребителя практическим приемам включения и выключения из аппарата, а также для имитации работы аппарата в части физиологических характеристик дыхания.

Развитие учебных аппаратов идет в направлении все большей имитации процесса применения (от массогабаритных показателей аппарата к применению учебных регенеративных патронов с имитацией температурно-влажностных параметров вдыхаемого воздуха). В последнее время такие учебные самоспасатели применяют совместно с новыми цифровыми технологиями (технология дополненной реальности, регистрация физиологических параметров обучающегося).

Список литературы / References

1. Дубовик, Б. А. Актуальные вопросы пожарной безопасности объектов с массовым пребыванием людей / Б. А. Дубовик, С. Г. Кудинов // Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы XXXV Международной научно-практической конференции (Москва, 31 мая 2023 г.). – Москва : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. – С. 721 – 732.

Dubovik, B. A., Kudinov, S. G. *Aktualnye voprosy pozharnoy bezopasnosti obyektov s massovym prebyvaniem lyudey* [Major aspects of fire safety for objects with mass gathering of people]. *Aktualnye problemy pozharnoy bezopasnosti : proceedings of the XXXV International scientific and practical conference* (Moscow, May 31, 2023). Moscow, FGBU VNIIPPO MChS Rossii Publ., 2023, pp. 721-732. (In Russian)

2. Капцов, В. А. О применении автономных изолирующих респираторов / В. А. Капцов, А. В. Чиркин // Безопасность труда в промышленности. – 2018. – № 3. – С. 46 – 50.

Kaptsov, V. A., Chirkin, A. V. *O primeneniі avtonomnykh izoliruyushchikh respiratorov* [On utilization of self-contained breathing apparatuses]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, 2018, no. 3, pp. 46-50. (In Russian)

3. Зборщик, Л. А. Учебный самоспасатель ШСС-1Т1 / Л. А. Зборщик, Н. Н. Бурего // Горноспасательное дело. – 2007. – Вып. 44. – С. 136 – 139.

Zborshchik, L. A., Burego, N. N. *Uchebnyy samospasatel ShSS-1T1* [The ШСС-1Т1 training self-rescuer]. *Gornospasatelnoe delo*, 2007, issue 44, pp. 136-139. (In Russian)

4. Собурь, С. В. Обучение населения мерам пожарной безопасности // Пожары и окружающая среда : материалы XVII Международной научно-практической конференции. – Москва : ФГУ ВНИИПО, 2002. – С. 389 – 391.

Sobur, S. V. *Obuchenie naseleniya meram pozharnoy bezopasnosti* [Teaching the fire safety precautions to population]. *Pozhary i okruzhayushchaya sreda : proceedings of the XVII International scientific and practical conference*. Moscow, FGU VNIPO Publ., 2002, pp. 389-391. (In Russian)

5. Собурь, С. В. Об опыте обучения руководителей предприятий мерам пожарной безопасности в городе Москве // Пожары и окружающая среда : материалы XVII Международной научно-практической конференции. – Москва : ФГУ ВНИИПО, 2002. – С. 391 – 393.

Sobur, S. V. *Ob opyte obucheniya rukovoditeley predpriyatiy meram pozharnoy bezopasnosti v gorode Moskve* [On the experience of teaching the fire safety precautions to the directors of enterprises in Moscow city]. *Pozhary i okruzhayushchaya sreda : proceedings of the XVII International scientific and practical conference*. Moscow, FGU VNIPO Publ., 2002, pp. 391-393. (In Russian)

6. Собурь, С. В. Из опыта разработки положений о добровольных противопожарных формированиях города Москвы // Пожары и окружающая среда : материалы XVII Международной научно-практической конференции. – Москва : ФГУ ВНИИПО, 2002. – С. 393 – 396.

Sobur, S. V. *Iz opyta razrabotki polozheniy o dobrovolnykh protivopozharnykh formirovaniyakh goroda Moskvy* [From the experience of developing the regulations on voluntary fire brigades of Moscow city]. *Pozhary i okruzhayushchaya sreda : proceedings of the XVII International scientific and practical conference*. Moscow, FGU VNIPO Publ., 2002, pp. 393-396. (In Russian)

7. Собурь, С. В. Об итальянском законодательстве в области пожарной безопасности / С. В. Собурь, О. С. Собурь // Пожарная безопасность. – 2006. – № 5. – С. 99 – 110.

Sobur, S. V., Sobur, O. S. *Ob italyanskom zakonodatelstve v oblasti pozharnoy bezopasnosti* [On Italian legislation in the field of fire safety]. *Pozharnaya bezopasnost*, 2006, no. 5, pp. 99-100. (In Russian)

8. Обердиенко, С. А. VR-технологии и их вклад в обучение по специальности «Горное дело» / С. А. Обердиенко // Севергеоэкотех-2021 : доклады XXII Международной молодежной научной конференции (Ухта, 17–19 марта 2021 г.). – Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2021. – С. 210 – 212.

Oberdienko, S. A. *VR-tekhnologii i ikh vklad v obuchenie po spetsialnosti "Gornoe delo"* [VR-technologies and their input into the teaching Mine-rescue discipline]. *Severgeoekotekh-2021 : theses of the XXII International youth scientific conference* (Ukhta, March 17-19, 2021). Ukhta, UGTU Press, 2021, pp. 210-212. (In Russian)

9. Новая технология обучения и тренировки личного состава по применению изолирующих дыхательных аппаратов с контролем физиологических параметров / В. С. Бабков, О. В. Крючин, С. Б. Путин, Д. Ю. Тулупов // Морская медицина. – 2022. – Т. 8, № 2. – С. 102 – 111.

Babkov, V. S., Kryuchin, O. V., Putin, S. B., Tulupov, D. Yu. *Novaya tekhnologiya obucheniya i trenirovki lichnogo sostava po primeneniyu izoliruyushchikh dykhatelnykh apparatov s kontrolem fiziologicheskikh parametrov* [Novel technology of teaching and training of personnel on how to use the self-contained breathing apparatuses with physiologic monitoring]. *Morskaya meditsina*, 2022, vol. 8, no. 2, pp. 102-111. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 28.11.2023
Дата опубликования 19.03.2024

Vladimir Mikhaylovich Medgaus, head of department; e-mail: vladimir_medgaus@mail.ru;
Ruslan Sergeevich Pletenetskiy, senior scientific associate; e-mail: zoloto-russland@yandex.ru;
Lyubov Alekseyevna Zborshchik, senior scientific associate; e-mail: lzborschik@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

ANALYSIS OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF TRAINING SELF-RESCUERS AND TEACHING TECHNIQUES INCORPORATED THEM

Objective. To examine performance specifications of the training self-rescuers in service produced by the various manufacturers, the tactics of their utilization, specifics of training statutory regulations and to define the current trends of respiratory protective equipment exploitation training in order to improve civilian population safety.

Methods. Analytical methods of study of exploitation of the training self-rescuers.

Results. The self-rescuers for training the directions of use and practicing the skills were studied and examined; the training self-rescuer was developed for the civilian population to gain the practicing in exploitation of the respiratory protective equipment.

Scientific novelty. The training self-rescuer was developed featuring the special activator device construction for simulation of a breathing resistance.

Practical value. The results of the examinations allowed for the prospective trends of training self-rescuers improvement to be defined regarding the training self-rescuers for the direction of use training and practicing skills.

Keywords: *breathing apparatus; self-rescuer; teaching; training; training self-rescuers.*

Citation. Medgaus V. M., Pletenetskiy R. S., Zborshchik L. A., Frantsev V. I. Analysis of technical characteristics of training self-rescuers and teaching techniques incorporated them. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 1(61), pp. 118-128. EDN LYRYIL.

Издания НИИ «Респиратор»

Методические рекомендации по организации тушения пожаров, ликвидации аварий и ведению аварийно-спасательных работ на химически опасных объектах : утв. МЧС ДНР 26.04.2018 № 120. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2018. – 108 с.

Приведены сведения о классификации аварийно химически опасных веществ, чрезвычайных ситуациях, вызванных авариями на химически опасных объектах, особенностях пожаров, способах и средствах тушения пожаров (ликвидации аварий). Установлены требования к безопасности труда личного состава подразделений МЧС ДНР.

Для личного состава МЧС ДНР, который принимает участие в тушении пожаров, ликвидации аварий и ведении аварийно-спасательных работ на химически опасных объектах.

Методические указания по разработке проекта противопожарной защиты угольных шахт : утв. МЧС ДНР 15.12.2017. – Донецк, 2018. – 88 с.

Содержат требования к противопожарной защите угольных шахт. Систематизирован порядок разработки, корректирования и экспертизы проектов противопожарной защиты угольных шахт.

Для личного состава ГВГСС, инженерно-технических работников угольных шахт, проектных и научно-исследовательских организаций.

Создание и функционирование шахтных горноспасательных станций на горных предприятиях Донецкой Народной Республики : утв. МЧС ДНР 13.07.2018 № 202, МУЭ ДНР 13.07.2018 № 220. – Донецк, 2018. – 42 с.

Приведены порядок создания шахтных горноспасательных станций (ШГС), их функции и задачи по обучению и специальной подготовке членов вспомогательных горноспасательных команд (ВГК), персонала горных предприятий правилам пользования индивидуальными и групповыми средствами самоспасения, представлена методика проведения тренировок на учебно-тренировочных полигонах согласно правилам пользования средствами противопожарной защиты, а также порядок хранения материалов, аппаратуры, оборудования и специального оснащения ШГС, обслуживания и ремонта кислородно-дыхательной аппаратуры и оборудования в пунктах ВГК.

Для специалистов, эксплуатирующих опасные производственные объекты I и II классов опасности, на которых ведут горные работы.

МВИ 039-05/05-2019 ДН. Фрагменты, изъятые с места пожара. Методика обнаружения алканов (предельных углеводородов и их изомеров) методом газовой хроматографии в пробах, отобранных после пожара. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2019.

Методические рекомендации по организации тушения пожаров, ликвидации аварий и ведению аварийно-спасательных работ на химически опасных объектах : утв. МЧС ДНР 26.04.2018 № 120. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2018. – 108 с.

Методические рекомендации по разработке проекта противопожарной защиты угольных шахт : утв. МЧС ДНР 15.12.2017. – Донецк, 2018. – 88 с.

Донецк
2018

Методические указания по разработке проекта противопожарной защиты угольных шахт : утв. МЧС ДНР 15.12.2017. – Донецк, 2018. – 88 с.

Методические указания по созданию и функционированию шахтных горноспасательных станций на горных предприятиях Донецкой Народной Республики : утв. МЧС ДНР 13.07.2018 № 202, МУЭ ДНР 13.07.2018 № 220. – Донецк, 2018. – 42 с.

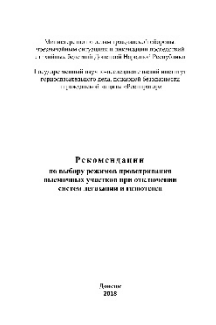
Донецк
2018

Методика обнаружения алканов (предельных углеводородов и их изомеров) методом газовой хроматографии в пробах, отобранных после пожара. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2019.

Рекомендации по выбору средств индивидуальной защиты органов дыхания при работе в условиях загазованности и запыленности : утв. МЧС ДНР 13.07.2018 № 202, МУЭ ДНР 13.07.2018 № 220. – Донецк, 2018. – 42 с.

Донецк
2018





Рекомендации по выбору режимов проветривания выемочных участков при отключении систем дегазации и газоотсоса : утв. МЧС ДНР 15.10.2018 № 324. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2018. – 51 с.

Приведены методы прогноза метановыделения, оценки газовой обстановки, определения необходимого расхода воздуха для нейтрализации выделения метана, расчета резервов воздуха на участке, в вентиляционной сети и на вентиляторах главного проветривания, выбора аварийных режимов проветривания выработок выемочного участка при отключении систем дегазации и (или) газоотсоса, параметры аэраторов и турбулизаторов воздуха с различными источниками энергии для ликвидации местных скоплений метана и аэродинамические характеристики газоотсасывающих вентиляторов.

Для работников ГВГСС МЧС ДНР.



Методические рекомендации по выбору и обоснованию номенклатуры сорбентов на основе природных пористых материалов для поглощения аварийно химически опасных веществ : утв. МЧС ДНР 29.04.2020. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2020. – 64 с.

Установлены общие требования к выбору номенклатуры сорбентов для поглощения аварийно химически опасных веществ при авариях на химически опасных объектах. Определены термины и понятия в области анализа сорбционной емкости, общие требования к выбору номенклатуры сорбентов. Представлены основные методики определения сорбционной емкости природных пористых материалов.

Для специалистов территориальных органов и подразделений МЧС ДНР, для ликвидации аварий на химически опасных объектах, связанных с проливами аварийно химически опасных веществ.



Пособие по применению аварийно-спасательного инструмента и оборудования, находящегося на вооружении подразделений МЧС ДНР : утв. МЧС ДНР 29.12.2017. – Донецк, 2018. – 220 с.

Рассмотрены классификация аварийно-спасательного инструмента и оборудования, находящихся на вооружении подразделений МЧС ДНР, назначение, технические характеристики, условия применения гидравлического, пневматического, бензомоторного аварийно-спасательного инструмента и оборудования. Изложены меры безопасности при работе с инструментом, описаны техническое обслуживание аварийно-спасательного инструмента и оборудования, возможные неисправности и способы их устранения.

Предназначено для обучения личного состава подразделений аварийно-спасательных формирований МЧС ДНР.



МВИ 054-05/05-2022 ДН. Фрагменты, изъятые с места пожара. Методика идентификации легковоспламеняющихся и горючих жидкостей по ароматическим углеводородам при пожарно-технических исследованиях. – Донецк : ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР», 2022. – 20 с.

Методические рекомендации по ведению изоляционных работ на участках с осложнившимся пожаром с использованием смесей на основе цементных вяжущих : утв. МЧС ДНР 23.04.2019. – Донецк, 2020. – 39 с.

РЕКОМЕНДАЦИИ
по ведению изоляционных работ
на участках с осложнившимся пожаром
с использованием смесей
на основе цементных вяжущих

Донецк
2020

Рекомендации по ведению изоляционных работ на участках с осложнившимся пожаром с использованием смесей на основе цементных вяжущих : утв. МЧС ДНР 23.04.2019. – Донецк, 2020. – 39 с.

Приведены рецептуры цементно-шлаковой и цементно-зольной смесей с ускорителем твердения хлористым кальцием. Описана технология изготовления сухих смесей для применения в шахте и необходимое оборудование. Разработана номограмма для оперативного определения толщины взрывоустойчивой перемычки в зависимости от глубины возведения, сечения выработки, перепада температур.

Рекомендации предназначены для специалистов горноспасательной службы, работников предприятий угольной промышленности.

Методическое руководство по проведению депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах : утв. МЧС ДНР 14.10.2019. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2020. – 92 с.

РЕКОМЕНДАЦИИ
по проведению депрессионных и газовых съемок
в угольных шахтах

Донецк
2020

Руководство по проведению депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах : утв. МЧС ДНР 14.10.2019. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2020. – 92 с.

Приведены методы и способы проведения депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах, измерения расхода воздуха, депрессии и аэродинамических сопротивлений горных выработок, температуры и влажности воздуха, депрессии естественной тяги, обследования и анализа работы вентиляторов главного проветривания. Изложены методы определения газового баланса выемочных участков и оценки состояния проветривания угольных шахт.

Предназначено для работников ГВГСС МЧС ДНР.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
по выбору методов оценки рисков
чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах

Донецк
2021

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

Изложены принципы, методы и способы анализа опасностей для оценки рисков чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах. Установлены общие требования выбора методов с учетом специфических особенностей предприятий.

Предназначены для специалистов по вопросам охраны труда и промышленной безопасности предприятий, организаций и учреждений, осуществляющих проектирование, строительство, эксплуатацию, реконструкцию, техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию опасных производственных объектов, экспертно-технических центров, органов, осуществляющих надзорную деятельность в промышленности, учебных заведений и учебно-методических центров.

Методические рекомендации по оценке риска чрезвычайных ситуаций на ликвидируемых шахтах Донецкой Народной Республики : утв. МЧС ДНР 09.03.2023. – Донецк : ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР», 2023. – 56 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
по оценке риска возникновения чрезвычайных ситуаций
на ликвидируемых шахтах

Донецк
2023

Методические рекомендации по оценке риска чрезвычайных ситуаций на ликвидируемых шахтах Донецкой Народной Республики : утв. МЧС ДНР 09.03.2023. – Донецк : ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР», 2023. – 56 с.

Приведены общие методические подходы и рекомендованный порядок проведения анализа опасностей и оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций на ликвидируемых шахтах Донецкой Народной Республики для разработки и (или) корректировки мероприятий по снижению риска возникновения аварий и их последствий.

Предназначены для специалистов по промышленной безопасности и охране труда.



Рекомендации по возведению изолирующих сооружений гидромеханическим способом из материалов на основе цементных вяжущих : утв. МЧС ДНР 06.10.2021. – Донецк, 2022. – 24 с.

Приведены рецептуры цементно-шлаковой и цементно-золевой смесей с пластификатором и ускорителем твердения хлористым кальцием. Предложена технологическая схема возведения взрывоустойчивой перемычки на основе пневмонагнетательной техники и использования компонентов смеси, расфасованных в тару в состоянии поставки. Приведены формулы для определения потребной массы компонентов цементно-шлаковой и цементно-золевой смесей для сооружения перемычки в произвольном сечении выработки.

Рекомендации предназначены для использования специалистами ГВГСС и работниками угольной промышленности.



Методические рекомендации по выявлению и изъятию фрагментов электроустановок с места пожара. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2022. – 44 с.

Систематизированы сведения о порядке осмотра, выявления и изъятия фрагментов электроустановок с визуальными признаками аварийных режимов работы для установления причинно-следственной связи между аварийными режимами работы в электроустановках и возникновением пожара.

Предназначены для специалистов органов дознания, испытательной пожарной лаборатории и пожарно-технических экспертов.



Методические рекомендации по оценке рисков чрезвычайных ситуаций на угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях Донецкой Народной Республики : утв. МЧС ДНР 25.10.2022. – Донецк : ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР», 2022. – 48 с.

Приведен порядок проведения анализа опасностей и оценки рисков чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах угольной отрасли для разработки и (или) корректировки мероприятий по снижению рисков аварий и их последствий.

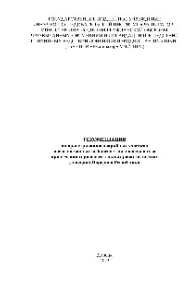
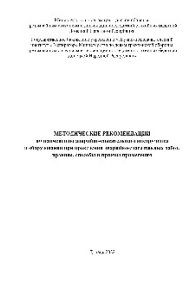
Предназначены для специалистов по охране труда и промышленной безопасности.



Инструкция подконтрольного обслуживания и эксплуатации респираторов с длительным сроком эксплуатации в подразделениях МЧС ДНР для продления их срока службы : утв. МЧС ДНР 29.09.2022. – Донецк, 2023. – 64 с.

Изложены методы диагностики респираторов и их сборочных единиц, подготовка респираторов к диагностике, разборка узлов воздухопроводной и кислородораспределительной систем респираторов Р-30 и Р-34, критерии пригодности составных частей, методы ремонта составных частей и порядок их замены, сборки, регулировки и проверка отдельных узлов и респиратора в собранном виде.

Предназначена для использования в подразделениях ГВГСС МЧС ДНР при проведении ежегодного технического обслуживания (годовой ревизии всех составных частей), ремонта и проверок респираторов Р-30 и Р-34 со сроком эксплуатации более 10 лет для продления их срока службы.



Методические рекомендации по применению аварийно-спасательного инструмента и оборудования при проведении аварийно-спасательных работ, правила, способы и приемы применения : утв. МЧС ДНР 07.11.2022. – Донецк, 2023. – 136 с.

Изложены безопасные и эффективные методы применения аварийно-спасательного инструмента и оборудования при ведении работ по деблокированию и извлечению пострадавших из поврежденных транспортных средств при дорожно-транспортных происшествиях, при вскрытии решеток и дверей во время ликвидации пожаров и последствий стихийных бедствий.

Предназначены для использования в работе подразделений МЧС ДНР, в учебном процессе образовательных организаций.

Рекомендации по проветриванию аварийных участков после внезапных выбросов угля, породы и газа при ведении горноспасательных работ на шахтах Донецкой Народной Республики : утв. МЧС ДНР 30.01.2023. – Донецк : ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР», 2023. – 32 с.

Рассмотрены особенности проветривания шахт и отдельных выемочных участков при отработке пластов, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа, и факторы, влияющие на проветривание горных выработок аварийного участка после внезапного выброса. Представлен порядок организации разведки аварийного участка и контроля шахтной среды. Предложены рекомендации по проветриванию аварийных участков после внезапных выбросов угля, породы и газа. Отражены меры безопасности при ведении горноспасательных работ в шахтах после внезапных выбросов.

Предназначены для работников Государственной военизированной горноспасательной службы МЧС ДНР.

Методика определения концентрации непредельных углеводородов (этилена и ацетилена) для установления температуры углей : утв. МЧС ДНР от 22 июля 2019 г. № 239. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2019. – 10 с.

МВИ 040-05/05-2019 ДН. Методика бесконтактного определения температуры самовозгорания угля : утв. МЧС ДНР от 22 июля 2019 г. № 239. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2019. – 14 с.

МВИ 024-05/05-2018 ДН. Фрагменты, изъятые с места пожара. Методика обнаружения следов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в исследуемой среде. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2018. – 22 с.

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. Подрисуночные 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»

2024, № 1(61)

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 19.03.2024.

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

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

Объем 6,4 Мб

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

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

Дата размещения на сайте 22 марта 2024 г.