



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»

№ 2(61)

Выходит 4 раза в год

Основан в 1970 г.

---

---

Донецк  
2024

---

---

Научный вестник НИИ «Респиратор». – Донецк, 2024. – № 2(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. Издание внесено в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, сформированный ВАК при Минобрнауки России (дата включения издания в Перечень 12.02.2024).

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	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

Издание включено 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 № 4 от 23.05.2024).

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. 2(61)

Published quarterly

Founded in 1970

---

---

Donetsk  
2024

---

---

Scientific bulletin of the NII "Respirator". – Donetsk, 2024. – No. 2(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 publication is included in the List of leading peerreviewed scientific journals and publications recommended by the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of Russia for publishing fundamental scientific results of theses for Candidate and Doctor of Science degrees (date 12.02.2024).

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.)	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 publication 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. 4 from 23.05.2024).

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

**Агеев В. Г., Пейтибай Г. И.,  
Галухин Н. А., Медгаус В. М.**  
Эффективность утопленного  
газокапельного сопла установки  
для тушения пожаров  
тонкораспыленной водой 7

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

**Мамаев В. В., Агарков А. В.**  
Исследование нестационарных  
процессов массопереноса в горных  
выработках шахт при экзогенных  
пожарах 18

**Mamayev V. V., Agarkov A. V.**  
Study on non-stationary mass transfer  
processes in mine workings during  
exogenic fires

**Тимошенко Д. А., Балта Д. Ф.,  
Буряк Д. С., Дикенштейн И. Ф.**  
Исследование процессов тушения  
низовых лесных пожаров  
мелкораспыленной водой 32

**Timoshenko D. A., Balta D. F.,  
Buryak D. S., Dikenshtein I. F.**  
Study of the processes of extinguishing  
ground forest fires with fine sprayed water

**Осадчий А. В., Земляк Г. Н.,  
Разиньков С. В., Шиш О. С.**  
Обоснование параметров установки для  
сушки пожарных напорных рукавов 44

**Osadchiy A. V., Zemlyak G. N.,  
Razinkov S. V., Shish O. S.**  
Parameters substantiation for fire delivery  
hose drying box

***II. Безопасность труда******II. Occupational safety***

**Мамаев В. В., Плетенецкий Р. С.,  
Зборщик Л. А., Францев В. И.**  
Применение искусственных  
газовых сред в изолирующих  
дыхательных аппаратах 54

**Mamayev V. V., Pletenetskiy R. S.,  
Zborshchik L. A., Frantsev V. I.**  
Utilization of artificial gaseous  
environments in self-contained breathing  
appartuses

**Иваненко А. Ф., Мухин П. Е.**  
Обоснование научно-методических  
подходов к оценке профессионального  
риска горноспасателей 65

**Ivanenko A. F., Mukhin P. Ye.**  
Substantiation of scientific and  
methodological approaches to assessing  
the occupational risk of rescuers

**Ранга Н. Г., Кирьян А. П.,  
Ефименко В. Л., Хацько М. С.**  
Дыхательный аппарат конструкции  
С. И. Фесенко: начало  
газодымозащитной службы страны

74

**Ranga N. G., Kiryan A. P.,  
Efimenko V. L., Khatsko M. S.**  
The device of S. I. Fesenko's design:  
the beginning of the country's gas and  
smoke protection service

**Ивахненко А. В.**  
Ведение горных работ в условиях  
повышенных температур шахтного  
воздуха

85

**Ivakhnenko A. V.**  
Conduction of mining works in conditions  
of elevated temperatures of mine air

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

**Долженков А. Ф., Мороз Т. О.**  
Комплексный подход при создании  
высокоэффективных средств  
индивидуальной защиты спасателей

93

**Dolzhenkov A. F., Moroz T. O.**  
Comprehensive approach to the creation  
of highly effective personal protective  
equipment of rescuers

**Лебедева В. В., Томилов М. К.**  
Влияние антипиренов на повышение  
огнетушащей способности воды

103

**Lebedeva V. V., Tomilov M. K.**  
Antipyrine effect on enhancement fire-  
suppressing capacities of water

**Гарбузов А. П., Капран Л. Н.,  
Кирич В. Н., Федористова А. А.**  
Анализ и обобщение состояния горных  
выработок на шахтах ДНР

112

**Garbuzov A. P., Kapran L. N.,  
Kirin V. N., Fedoristova A. A.**  
Analysis and generalization of the state of  
mountain making on the DNR mines

**Лебедева В. В., Храпоненко О. В.**  
Оценка устойчивости огнезащитной  
древесины к воздействию влажности

120

**Lebedeva V. V., Khraponenko O. V.**  
Assessment of flame-retardant wood  
resistance to humidity

## I. Пожарная безопасность

УДК [614.844.2:62-182.4]:532.525.3

*Владимир Григорьевич Агеев*, д-р техн. наук, начальник; e-mail: [respirator@mail.dnmchs.ru](mailto:respirator@mail.dnmchs.ru);

*Георгий Иванович Пештибай*, канд. техн. наук, нач. отд.; e-mail: [niigd.osmas-1@mail.ru](mailto:niigd.osmas-1@mail.ru);

*Николай Александрович Галухин*, ст. науч. сотр.; e-mail: [niigd.osmas-7@mail.ru](mailto:niigd.osmas-7@mail.ru);

*Владимир Михайлович Медгаус*, нач. отд.; e-mail: [vladimir\\_medgaus@mail.ru](mailto: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

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ УТОПЛЕННОГО ГАЗОКАПЕЛЬНОГО СОПЛА УСТАНОВКИ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

**Цель.** Обоснование параметров для оценки эффективности пожаротушающей установки с утопленным в камеру смешивания газокapelьным соплом.

**Методы.** Аналитические исследования, обработка результатов экспериментальных исследований.

**Результаты.** Предложены критерии оценки газокapelьного сопла с утопленным в камеру смешивания конфузуром, основанные на особенностях механизма взаимодействия тонкораспыленной воды с тепловыми потоками пожара.

**Научная новизна.** Установлено, что зависимости импульса капельного потока и комплексного критерия утопленного газокapelьного сопла, зависящего одновременно от импульса и кинетической энергии, возрастают с уменьшением утопленной в камеру смешивания части газокapelьного сопла.

**Практическая значимость.** Результаты исследования могут быть использованы при разработке конструкции сопряжения камеры смешивания и газокapelьного сопла для увеличения кинетической энергии капельной струи.

**Ключевые слова:** эффективность; пожаротушающая установка; тонкораспыленная вода; утопленность; газокapelьное сопло; направление совершенствования.

**Для цитирования:** Агеев В. Г., Пештибай Г. И., Галухин Н. А., Медгаус В. М. Эффективность утопленного газокapelьного сопла установки для тушения пожаров тонкораспыленной водой // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 7–17. EDN UROMHP.

**Постановка проблемы.** Большинство ранцевых установок тушения пожара тонкораспыленной водой использует газодинамический способ распыления воды и ускорения капельного потока в двухфазных соплах Лавала (или упрощенных конических). За счет преобразования энтальпии газовой фазы в кинетическую энергию капельного потока на срезе сопел формируется высокоскоростной и направленный поток тонкораспыленной воды. Эффективность газокapelьных сопел во многом определяется их геометрическим профилем и способом соединения входной части сопла (конфузора) с камерой смешивания жидкости и газа. Классическим решением соединения камеры смешивания с конфузуром сопла является плавное сопряжение внутреннего диаметра камеры смешивания с конфузуром сопла.

В последнее время предлагаются новые технические решения, в которых входная часть сопла утоплена (погружена) в камеру смешивания. Сообщается, что за счет утопленности сопла обеспечивается возможность быстрого регулирования массового расхода жидкости и повышается кинетическая энергия истекающей газок капельной струи.

Оценка эффективности новых технических решений – актуальная задача, решение которой позволит обосновать выбор направления совершенствования пожаротушающих установок с газок капельным соплом для тушения пожаров тонкораспыленной водой.

**Анализ последних исследований.** Впервые утопленное в камеру смешивания газок капельное сопло для пожаротушения предложено в запатентованном техническом решении (Патент № 2442627. Российская Федерация, МПК А62С 35/00 (2006.01)). Устройство для распыления жидкости в газовой среде с образованием газок капельной струи с высокой кинетической энергией : № 2011102341 : заявл. 21.01.2011 : опубл. 20.02.2012 / Пахомов Г. Б., Зинин А. В., Макаров С. Д.) с целью снижения массового расхода газа, повышения дисперсности капель и регулирования массового расхода воды.

Приводятся некоторые технические характеристики, согласно таблице 1, полученные при испытании установки для распыления жидкости в газовой среде с помощью утопленного газок капельного сопла, из которых следует, что при погружении диффузора в полость камеры смешивания на глубину  $L$ , м, равную  $0,5...1,5D_{кр}$ , где  $D_{кр}$  – критический диаметр сопла, м, изменяются массовый расход воды и газа.

Таблица 1

Технические характеристики утопленного газок капельного сопла

Глубина погружения сопла $L$ , м	Скорость капельного потока $u_k$ , м/с	Массовый расход воды $G_k$ , г/с	Массовый расход газа $G_g$ , г/с	Дисперсность капель $d_k$ , мкм
$0,5D_{кр}$	81	361	10	100
$1,0D_{кр}$	85	332	9	95
$1,5D_{кр}$	81	324	9	100

В публикации [1] сделана попытка оценки геометрии утопленного сопла на его эффективность, и в частности, на коэффициент расхода. Отмечается закономерность снижения удельного импульса при увеличении степени утопленности. В работе [2] применительно к ракетным двигателям указывается, что удельные потери импульса, обусловленные утопленностью сопла, могут достигать 1 %. В публикации [3] приводятся сведения, подтверждающие увеличение потерь удельного импульса до 1,4 % при увеличении степени утопленности сопла до 0,75.

**Цель исследования** – обоснование параметров для оценки эффективности пожаротушащей установки с утопленным в камеру смешивания газокпельным соплом.

**Результаты исследований.** Конструктивная схема утопленного в камеру смешивания газокпельного сопла показана на рис. 1.

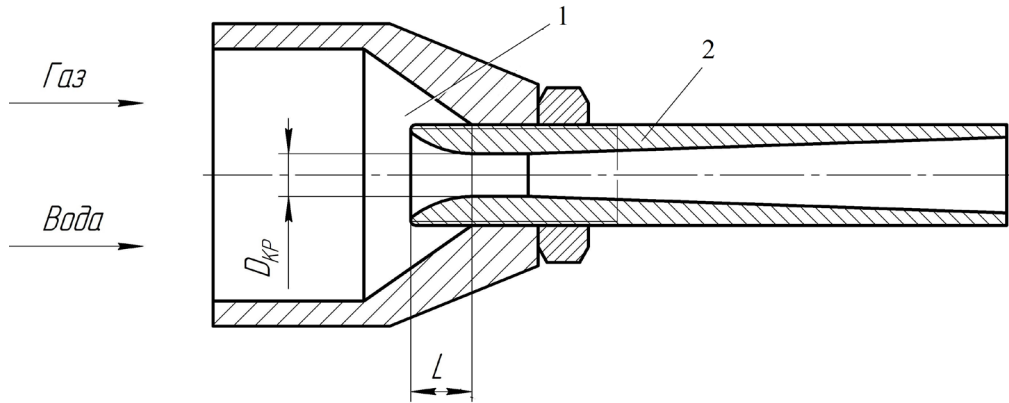


Рис. 1. Конструктивная схема утопленного в камеру смешивания газокпельного сопла:

1 – камера смешивания; 2 – газокпельное сопло

При взаимодействии газового потока с водой в камере смешивания образуется газокпельная смесь, которая, попадая в утопленную часть конфузора, а затем, двигаясь через критическое сечение и диффузор газокпельного сопла, разгоняется и выбрасывается в атмосферу с большой кинетической энергией.

Рассмотрим результат влияния утопленного в камеру смешивания газокпельного сопла на его технические характеристики. Согласно данным таблицы 1 при изменении глубины погружения  $L$  сопла в диапазоне  $0,5 \dots 1,5D_{кр}$  скорость капельного потока изменяется в диапазоне  $81 \dots 85$  м/с, а расход воды в диапазоне  $361 \dots 324$  г/с. Таким образом, диапазон регулирования скорости и расхода воды можно вычислить по формулам

$$D_u = \frac{u_{\max}}{u_{\min}}; \quad D_G = \frac{G_{\max}}{G_{\min}},$$

где  $D_u, D_G$  – диапазоны регулирования скорости и расхода воды;

$u_{\max}, u_{\min}$  – максимальное и минимальные значения скорости, м/с;

$G_{\max}, G_{\min}$  – максимальное и минимальные значения расхода воды, г/с.

Тогда

$$D_u = \frac{85}{81} \approx 1,05; \quad D_G = \frac{361}{324} \approx 1,11.$$

Таким образом, диапазоны регулирования скорости капель и расхода воды очень узкие, примерно на два порядка меньше диапазона регулирования параметра в системах общепромышленного назначения. Кроме того, скорость капельного потока и расход воды изменяются одновременно и разнонаправленно. С другой стороны, возникает вопрос о смысле регулирования расхода воды в малорасходных первичных средствах пожаротушения кратковременного действия (25...35 с), применяемых для тушения пожаров в начальной стадии возгорания. Нам представляется нецелесообразной и избыточной функция регулирования расхода воды, которая не может повлиять на повышение эффективности тушения пожара.

Предлагается иной подход для повышения эффективности утолщенного газочапельного сопла. Если исходить из импульсного механизма взаимодействия капельного потока тонкораспыленной воды с тепловыми конвективными восходящими газовыми потоками при пожаре, то основным критерием для обоснования длины утолщенной части газочапельного сопла может быть максимум импульса капельного потока на срезе сопла. Таким образом, глубина погружения сопла должна быть не регулируемой, а фиксированной и настроенной на максимум импульса  $I_{\max}$ , Н, капельного потока. Математически это можно представить в виде

$$L : I_{\max} = \max_L (u_k G_k) \quad (1)$$

с ограничениями  $0 < u \leq u_{\max}$ ,  $0 < G \leq G_{\max}$ .

В работе [4] предложен альтернативный энергетический критерий  $Fe$ , характеризующий проникающую способность тонкораспыленной воды достигать очага пожара

$$Fe > \frac{K}{Q_s}, \quad (2)$$

где  $K$  – кинетическая энергия капле, Дж;

$Q_s$  – суммарный тепловой параметр пламени, Дж.

Из формулы (2) следует, что параметром оптимизации утолщенной части газочапельного сопла кроме импульса может служить и кинетическая энергия капельного потока на срезе сопла

$$K = \frac{G_k u_k^2}{2}. \quad (3)$$

Выражения для импульса и кинетической энергии капельного потока зависят от одних и тех же параметров  $G_k$  и  $u_k$ , но формула (3) для кинетической энергии более чувствительна к параметру  $u_k$ . Тогда целевая функция для оптимизации  $L$  может быть записана так

$$L : K_{\max} = \max_L \frac{G_k u_k^2}{2}. \quad (4)$$

Таким образом, оптимизацию длины утолщенной части газочапельного сопла можно проводить, используя целевые функции из выражения (1) или (4) или одновременно (1) и (4).

Для каждой строки таблицы 1 вычислим импульс  $I$  и кинетическую энергию  $K$  капельного потока. Нормализуем полученные рассчитанные величины по формулам

$$\bar{I} = \frac{I_i}{I_{\max}}; \quad \bar{G} = \frac{G_i}{G_{\max}},$$

где  $\bar{I}, \bar{G}$  – нормализованные  $I, G$ ;

$I_i, G_i$  –  $i$ -е значения  $I, G$ ;

$I_{\max}, G_{\max}$  – максимальные значения  $I, G$ .

Результаты расчетов импульса и кинетической энергии капельного потока приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов импульса и кинетической энергии капельного потока

Относительная длина утолщенной части сопла $\frac{L}{D_{кр}}$	Импульс капельного потока $I$ , Н	Кинетическая энергия капельного потока $K$ , Дж	Нормализованное значение импульса $\bar{I}$	Нормализованное значение кинетической энергии $\bar{K}$
0,5	29,241	1184,260	1,000	0,987
1,0	28,220	1199,350	0,965	1,000
1,5	26,244	1062,880	0,898	0,896

Полученные нормализованные величины  $\bar{I}, \bar{K}$  представлены в графическом виде на рисунке 2.

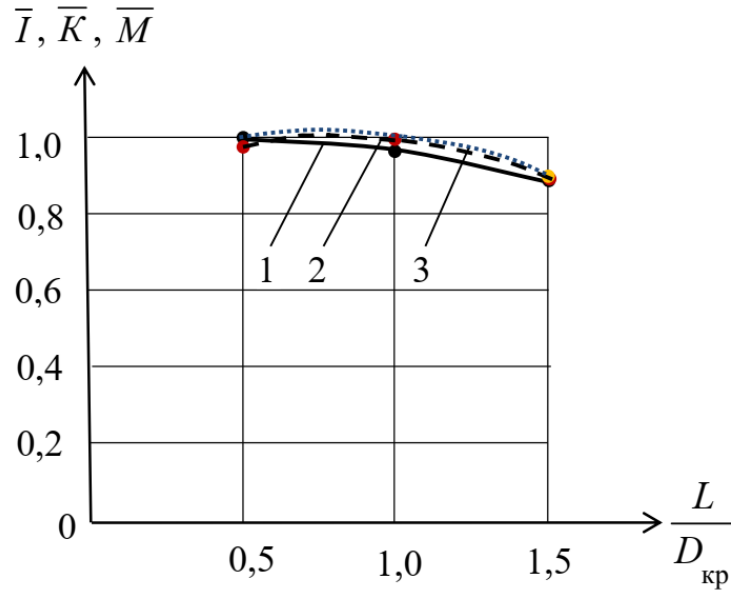


Рис. 2. График зависимости величины  $\bar{I}$ ,  $\bar{K}$  от относительной длины  $\frac{L}{D_{кр}}$ :

1 – зависимость  $\bar{I}$ ; 2 – зависимость  $\bar{K}$ ; 3 – зависимость  $\bar{M}$

Для комплексного критерия эффективности утолщенного газочапельного сопла, зависящего одновременно от двух величин  $\bar{I}$ ,  $\bar{K}$ , примем мультипликативную свертку  $\bar{M}$  в виде

$$\bar{M} = \bar{I}^m \bar{K}^n, \quad (5)$$

где  $m$  и  $n$  – показатели, определяющие важность критериев  $\bar{I}$ ,  $\bar{K}$ .

Находим  $m$  и  $n$  из следующих соображений:

- критерии  $\bar{I}$ ,  $\bar{K}$  равноважны;
- для показателей  $m$ ,  $n$  выполняется условие нормировки.

Таким образом, получаем систему уравнений

$$\begin{cases} m = n \\ m + n = 1. \end{cases} \quad (6)$$

Решением системы уравнений (6) являются корни  $m = n = 0,5$ . Следовательно, уравнение (5) можно переписать в виде

$$\bar{M} = \sqrt{\bar{I} \bar{K}}.$$

Графическая зависимость  $\bar{M}\left(\frac{L}{D_{кр}}\right)$  совмещена на рисунке 2 с критериями  $\bar{I}\left(\frac{L}{D_{кр}}\right)$ ,  $\bar{K}\left(\frac{L}{D_{кр}}\right)$ .

В таблице 1 отсутствуют данные для  $I, K$  в информативной точке  $\frac{L}{D_{кр}} = 0$ .

Недостающие параметры импульса и кинетической энергии капельного потока при  $\frac{L}{D_{кр}} = 0$  можно получить, используя систему дифференциальных и алгебраических уравнений, предложенную в работе [5]. Однако для ее решения необходимы экспериментальные данные расходов газового и капельного потоков, диаметра капель на входе газочапельного сопла. Сложность решения и принятые допущения, которые выполняются неточно, обеспечивают отклонения между расчетными и экспериментальными данными до 15 %. Более простым и точным может быть предлагаемый расчетно-экспериментальный способ определения характеристик двухфазного потока, справедливый только для среза сопла. Для этого используют уравнения для полного импульса двухфазного потока, уравнения расхода капельного и газового потоков и уравнения связи между площадью среза газочапельного сопла и площадями капельного и газового потоков.

$$\begin{cases} u_k G_k + u_g G_g = I_{\Pi} \\ G_k = \rho_k S_k u_k \\ G_g = \rho_g S_g u_g \\ S_o = S_k + S_g, \end{cases} \quad (7)$$

где  $u_g$  – скорость газа, м/с;

$\rho_k$  – плотность капель кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_g$  – плотность газа кг/м<sup>3</sup>;

$S_o$  – площадь среза газочапельного сопла, м<sup>2</sup>;

$S_k$  – площадь сечения капельного потока, м<sup>2</sup>;

$S_g$  – площадь сечения газового потока, м<sup>2</sup>;

$I_{\Pi}$  – полный импульс газовой и капельной фаз, Н.

Из системы уравнений находят неизвестные  $u_k, u_g, S_k, S_g$  по экспериментально найденным величинам  $G_k, G_g, I_{\Pi}$ . Полный импульс  $I_{\Pi}$  определим, основываясь

на том, что он равен силе воздействия двухфазного газочапельного потока на неподвижную перпендикулярно расположенную преграду, например платформу весоизмерительного устройства или пластину, соединенную со штоком динамометра сжатия.

Одним из корней системы уравнений (7) является выражение

$$u_k = \frac{G_k}{\rho_r (S_o - S_r)}, \quad (8)$$

$$\text{где } S_r = \frac{\rho_k \rho_r S_o I + \rho_k G_r^2 - \rho_r G_k^2 + \sqrt{(\rho_k \rho_r S_o I + \rho_k G_r^2 - \rho_r G_k^2)^2 - 4\rho_k^2 \rho_r S_o G_r^2}}{2I\rho_k \rho_r}.$$

Зная  $u_k$ ,  $G_k$  при  $\frac{L}{D_{кр}} = 0$ , находят параметры  $I, K, M$ .

Для численного определения  $u_k$  по формуле (8) необходимо знание площади среза газочапельного сопла  $S_o$ , при котором проводились измерения, внесенные в таблицу 1. Авторы технического решения не приводят вышеупомянутые данные, поэтому провести корректные экспериментальные исследования в нулевой точке  $\frac{L}{D_{кр}} = 0$  не представляется возможным.

Анализируя кривые, представленные на рисунке 2, можно сделать следующие выводы: графики функций  $\bar{I}, \bar{M}$  на отрезке  $[0,5; 1,5]$  являются монотонно убывающими функциями и не имеют экстремума. Наибольшее значение  $\bar{I}, \bar{M}$  достигается в начальной точке отрезка, равной 0,5. Функция  $\bar{K}$  имеет слабо выраженный максимум в точке 1,0. Таким образом, на рекомендуемом авторами работы [1] отрезке погружения утопленного сопла  $[0,5D_{кр}; 1,5D_{кр}]$  отсутствуют экстремумы функций  $\bar{I}, \bar{M}$ . Несущественно выраженный экстремум на кривой  $\bar{K}$  может быть объяснен погрешностью измерений и требует серьезной проверки.

Исходя из существующего объема информации и графиков, приведенных на рисунке 2, можно предположить, что кривые  $\bar{I}, \bar{K}, \bar{M}$  сохраняют тенденцию к увеличению численных значений при приближении к нулевой точке  $\frac{L}{D_{кр}} = 0$ , то есть максимальные значения импульса, кинетической энергии

и комплексного критерия будут достигаться при нулевой утопленности сопла, что ставит под сомнение дальнейшую перспективу развития газодинамических установок пожаротушения с утопленным газочапельным соплом.

**Выводы.**

1. Предложены критерии эффективности утопленного газокапельного сопла:

- максимум импульса капельного потока;
- максимум кинетической энергии капельного потока;
- максимум импульса и кинетической энергии капельного потока.

2. Показано, что значения предложенных критериев увеличиваются с уменьшением глубины утопленной части газокапельного сопла.

3. Наиболее перспективное (за счет более высоких значений импульса и кинетической энергии капельного потока) направление совершенствования – пожаротушащая установка тонкораспыленной водой, в которой конфузор газокапельного сопла последовательно соединен и плавно сопряжен с камерой смешивания капель и газа (при нулевой утопленности газокапельного сопла).

**Список литературы / References**

1. Сабирзянов, А. Н. Многофакторность влияния степени утопленности сопла на коэффициент расхода / А. Н. Сабирзянов, А. Н. Кириллова // Вестник концерна ВКО «Алмаз-Антей». – 2018. – № 1. – С. 43–49.

Sabirzyanov, A. N., Kirillova, A. N. *Mnogofactornost vliyaniya stepeni utoplennosti sopla na koeffitsient raskhoda* [The multifactorial effect of degree of nozzle on the flow coefficient]. *Bulletin of the concern ADC “Almaz-Antey”*, 2018, no. 1, pp. 43-49.

2. Тимнат, И. Ракетные двигатели на химическом топливе / И. Тимнат ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1990. – 294 с.

Timnat, I. *Raketnyye dvigateli na khimicheskoy toplive* [Chemical fuel rocket engines]; lane from English. – Moscow, World Publ., 1990, 294 p.

3. Сабирзянов, А. Н. Верификация модели расчета потерь из-за утопленности сопла / А. Н. Сабирзянов, А. Н. Кириллова // Проблемы и перспективы развития двигателестроения : материалы докладов международной научно-технической конференции 12–14 сентября 2018 г. – Самара : Самарский университет, 2018. – С. 82–83.

Sabirzyanov, A. N., Kirillova, A. N. *Verifikatsiya modeli raschyota poter iz-za utoplennosti sopla* [Verification of the model for calculating losses due to recessed nozzle]. *Problems and prospects for the development of engine building : materials of reports of the international scientific and technical conference 12–14.09.2018.* – Samara: Samara University Publ., 2018, pp. 82–83.

4. Исследование процесса пожаротушения с использованием тонкораспыленной воды / С. Г. Цариченко, В. А. Былинкин, Л. И. Белоусов, Д. В. Поляков, А. Е. Гусев // Снижение риска гибели людей при пожарах :

материалы XVIII научно-практической конференции. – Ч. 2. – Москва : ВНИИПО, 2003. – С. 3–6.

Tsarichenko, S. G., Bylinkin, V. A., Belousov, L. I., Polyakov, D. V., Gusev, A. E. *Issledovaniye protsessa pozharotusheniya s ispolzovaniyem tonkoraspylyonnoy vody* [Study of fire extinguishing process using water mist]. Reducing the risk of death in fires: materials of the XVIII scientific and practical conference. P. 2. Moscow: VNIPO, 2003, pp. 3-6.

5. Ефименко, В. Л. Повышение эффективности устройств пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям) (технические науки)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ефименко Виталий Леонидович. – Донецк, 2022. – 20 с. – Место защиты : ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР».

Efimenko, V. L. *Povyshenie effektivnosti ustroystv pozharotushenita s gasodinamicheskim printsipom raspylenia zhidkosti : dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Increasing the efficiency of fire extinguishing devices with the gas-dynamic principle of liquid spraying : 05.26.03 “Fire and Industrial Safety (technical sciences)” specialty : Candidate of Technical Sciences dissertation / Efimenko Vitaly Leonidovich]. Donetsk, 2022, 20 p. Place of thesis defence : GBU NII “Respirator”. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым  
Дата поступления рукописи 24.04.2024  
Дата опубликования 19.06.2024

Vladimir Grigoryevich Ageyev, Dr. Sci. (Tech.), director: e-mail: [respirator@mail.dnmchs.ru](mailto:respirator@mail.dnmchs.ru);  
Georgy Ivanovich Pefitbay, Cand. Sci. (Tech.), head of department; e-mail: [niigd.osmas-1@mail.ru](mailto:niigd.osmas-1@mail.ru);  
Nikolay Aleksandrovich Galukhin, senior scientific associate; e-mail: [niigd.osmas-7@mail.ru](mailto:niigd.osmas-7@mail.ru);  
Vladimir Mikhaylovich Medgaus, head of department; e-mail: [vladimir\\_medgaus@mail.ru](mailto: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

## EFFICIENCY OF A RECESSED GAS-DROPLET NOZZLE OF AN INSTALLATION FOR EXTINGUISHING FIRES WITH FINELY SPRAYED WATER

**Objective.** Justification of parameters for assessing the effectiveness of a fire extinguishing installation with a gas-droplet nozzle recessed into the mixing chamber.

**Methods.** Analytical studies, processing of experimental research results.

**Results.** Criteria for evaluating a gas-droplet nozzle with a confuser recessed into the mixing chamber are proposed, based on the peculiarities of the mechanism of interaction of finely atomized water with the heat flows of a fire.

**Scientific novelty.** It has been established that the dependences of the momentum of the droplet flow and the complex criterion of the recessed gas-droplet nozzle, which depends simultaneously on the impulse and kinetic energy, increase with a decrease in the part of the gas-droplet nozzle recessed into the mixing chamber.

**Practical significance.** The results obtained can be used in developing the design of the interface between the mixing chamber and the gas-droplet nozzle to increase the kinetic energy of the droplet jet.

**Keywords:** *efficiency; fire extinguishing installation; finely sprayed water; drowning; gas-drop nozzle; direction of improvement.*

**For citation.** Ageev V. G., Peftibai G. I., Galukhin N. A., Medgaus V. M. Efficiency of a recessed gas-droplet nozzle of an installation for extinguishing fires with finely sprayed water. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 2(61), pp. 7-17. EDN UROMHP.

УДК [622.822.24:622.411.3]:001.891.572

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

*Александр Владиславович Агарков*, канд. техн. наук, нач. отд.; e-mail: [aleksander\\_agarkov@mail.ru](mailto: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 НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТ ПРИ ЭКЗОГЕННЫХ ПОЖАРАХ

**Цель.** Исследование нестационарных процессов массопереноса в горных выработках при экзогенных пожарах и установление зависимостей распространения пожарных газов в аварийных участках для прогнозирования их загазованности при ведении аварийно-спасательных работ.

**Методы.** Использован комплексный метод исследования, включающий анализ научных источников, проведение теоретических исследований и сравнение полученных результатов с экспериментальными данными. Выполнено математическое моделирование с применением законов массопереноса, теории дифференциальных уравнений и численных методов их решения, методов математической статистики для обработки результатов исследований с использованием пакетов прикладных компьютерных программ.

**Результаты.** Разработана математическая модель процесса массопереноса в аварийных участках угольных шахт, установлены зависимости, позволяющие численным методом прогнозировать динамику распространения пожарных газов по длине горных выработок.

**Научная новизна.** Установлены аналитические зависимости скорости распространения пожарных газов при нестационарных процессах массопереноса, отличающиеся от известных возможностью прогнозировать газовую обстановку по длине аварийного участка в зависимости от условий проветривания, геометрических размеров выработок, коэффициентов массопереноса и наличия источников газовыделения.

**Практическая значимость.** Результаты исследований позволяют прогнозировать динамику концентраций пожарных газов в горных выработках для разработки научно обоснованных рекомендаций по их использованию горноспасательными подразделениями при ведении аварийно-спасательных работ в шахтах.

**Ключевые слова:** угольная шахта; аварийный участок; горная выработка; экзогенный пожар; нестационарные массообменные процессы; концентрации пожарных газов; математическое моделирование; экспериментальные исследования.

**Для цитирования:** Мамаев В. В., Агарков А. В. Исследование нестационарных процессов массопереноса в горных выработках шахт при экзогенных пожарах // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 18–31. EDN SQSAWJ.

**Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями.** Угольная промышленность – одна из ключевых отраслей экономики России [1]. Однако, несмотря на принимаемые меры по совершенствованию промышленной безопасности, количество подземных пожаров в угольной отрасли сохраняется на высоком уровне, при этом появляются условия, опасные для жизни и здоровья горноспасателей [2].

Согласно анализу данных ФГУП «ВГСЧ», на объектах, обслуживаемых горноспасательными подразделениями, за 13-летний период произошло 603 аварии и инцидента, из них 288 подземных пожаров и пожаров на поверхностных объектах шахт (в среднем – 22 пожара в год). По частоте возникновения пожары в шахтах составляют 45 % всех подземных аварий.

Наиболее часто происходят экзогенные пожары, которые могут осложняться взрывами газозадушенной смеси, при этом застигнутые аварией люди подвергаются угрозе поражения взрывной волной и опасности отравления продуктами взрыва. Причины образования в горных выработках взрывчатых газовых смесей: нарушение режима проветривания, возможность образования и выделения горючих газов.

В настоящее время горноспасатели применяют дистанционный контроль шахтной среды для получения данных о содержании горючих и взрывоопасных газов в аварийных участках [3, 4]. Однако применяемый способ и технические средства не позволяют достоверно прогнозировать массообменные процессы по сечению и длине горных выработок при пожарах, а используются горноспасателями исключительно для контроля газовой среды.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Теоретическим и экспериментальным исследованиям газовой динамики в шахтах при пожарах посвящены научные труды ведущих ученых: В. Г. Агеева, И. Е. Болбата, А. М. Брюханова, А. С. Голика, С. П. Грекова, В. М. Жадана, И. Н. Зинченко, С. С. Кобылкина, М. В. Кравченко, Н. М. Кравченко, В. И. Лебедева, Н. В. Малеева, В. Н. Медведева, С. Н. Осипова, Д. Ю. Палеева, П. С. Пашковского, К. З. Ушакова и других [2–8].

При изучении динамики подземного пожара авторами теоретически и экспериментально определены максимальная температура пожарных газов в очаге горения, скорость перемещения очага горения по выработке в зависимости от скорости вентиляционного потока, величина зоны горения, температура пожарных газов по длине выработки и состав пожарных газов. В работе [6] автором изложены результаты многочисленных экспериментальных и теоретических исследований в области газовой динамики шахт, рассмотрены газодинамические характеристики вентиляционных потоков, процессы образования слоистых скоплений метана в горных выработках.

Анализ проведенных многими авторами теоретических исследований позволил установить, что предлагаемые ранее методы прогнозирования газовой обстановки в горных выработках при пожарах не позволяют достоверно оценивать динамику концентраций всех контролируемых газов (метан, оксид и диоксид углерода, водород, кислород) с учетом условий проветривания, геометрических размеров выработок, коэффициентов массопереноса и других параметров.

**Цель статьи** – исследование нестационарных процессов массопереноса в горных выработках при экзогенных пожарах и установление зависимостей распространения пожарных газов в аварийных участках для прогнозирования их загазованности при ведении аварийно-спасательных работ.

**Результаты исследований.** При рассмотрении вопросов общего загазования горных выработок можно пренебречь динамической активностью газов, что позволяет использовать для описания процессов их переноса вдоль горных выработок уравнение нестационарной конвективной диффузии газов

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

где  $C$  – концентрация газа, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\tau$  – время с момента начала отсчета, с;  
 $u, v, w$  – проекции скорости воздуха на оси координат, м/с;  
 $x, y, z$  – продольная, вертикальная, поперечная координаты, м;  
 $D_x, D_y, D_z$  – коэффициенты турбулентной диффузии газов в направлении соответствующих координат, м<sup>2</sup>/с.

Добавим к уравнению (1) уравнение неразрывности потока воздуха согласно работе [8]

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

Используя уравнение неразрывности (2), приведем уравнение (1) к виду

$$\frac{\partial \tilde{N}}{\partial \delta} + \frac{\partial (uC)}{\partial x} + \frac{\partial (vC)}{\partial y} + \frac{\partial (wC)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right). \quad (3)$$

Направим ось  $x$  вдоль направления движения воздуха, ось  $y$  – от кровли к почве, а ось  $z$  – от середины сечения горной выработки к одной из боковых стенок.

Поскольку при рассмотрении общего загазования горных выработок интересует средняя по поперечному сечению концентрация любого газа, то, интегрируя уравнение (3) дважды по осям  $y$  и  $z$ , получим

$$\frac{\partial \tilde{C}}{\partial \tau} + \frac{\partial (u\tilde{C})}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x} \right) + i\tilde{C}, \quad (4)$$

где  $\tilde{C}$  – средняя по сечению выработки концентрация газа, кг/м<sup>3</sup>;  
 $i$  – интенсивность выделения или поглощения какого-либо газа, с<sup>-1</sup>.

Считаем, что интенсивность поглощения газов стенками горных выработок пропорциональна его концентрации

$$i(x, \tau) = -jC, \quad (5)$$

где  $j$  – коэффициент интенсивности поглощения различных газов, с<sup>-1</sup>.

Уравнение нестационарного переноса газов в горных выработках (1) решаем численным конечно-разностным методом. Анализ различных аппроксимаций первых и вторых частных производных по пространству показывает, что для первой производной предпочтительной с точки зрения точности второго порядка является схема с центральными разностями, а для второй производной – комбинированная схема с весом  $p$ . В этом случае уравнение (4) в конечных разностях при  $D_x = \text{const}$  можно представить в виде

$$\begin{aligned} \frac{\tilde{N}_m^{n+1} - \tilde{C}_m^n}{\Delta \delta} + \frac{(u\tilde{C})_{m+1}^n - (u\tilde{C})_{m-1}^n}{2\Delta x} = (1-p)D_x \frac{(\tilde{C}_{m-1}^n - 2\tilde{C}_m^n + \tilde{C}_{m+1}^n)}{\Delta x^2} + \\ + pD_x \frac{\tilde{C}_{m-1}^{n+1} - 2\tilde{C}_m^{n+1} + \tilde{C}_{m+1}^{n+1}}{\Delta x^2} + i_m^n, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $n$  – номер узла по времени;

$m$  – номер узла по пространственной координате  $x$  (рис. 1);

$\Delta \tau$  – шаг по времени, с;

$\Delta x$  – шаг по пространственной координате, м;

$p$  – удельный вес неявной схемы.

Конечные разности против потока больше соответствуют физической сущности процесса. Так, конвективный поток (рис. 1) слева поступает из точки  $(m-1)$  и выносится из точки  $m$ , а диффузионный поток рассеивает газ влево и вправо с убыванием его в боковые породы, на что указывает правая часть уравнения (6).

Предложенная расчетная схема (6) является неявной из-за наличия в правой части значения концентрации газа  $\tilde{C}_{m+1}^{n+1}$  на искомом временном слое. Чтобы не решать данную задачу методом прогонки в два этапа, превратим неявную схему в явную, отыскав предварительно значения концентрации газа  $\tilde{C}_{m+1}^{n+1}$  на искомом временном слое при  $p = 0$ . В этом случае уравнение (6) при  $p = 0$  примет вид

$$\frac{\tilde{C}_{m+1}^{n+1} - \tilde{C}_{m+1}^n}{\Delta\tau} + \frac{(u\tilde{C})_{m+2}^n - (u\tilde{C})_m^n}{2\Delta x} = D_x \frac{(\tilde{C}_m^n - 2\tilde{C}_{m+1}^n + \tilde{C}_{m+2}^n)}{\Delta x^2} + \bar{i}_{m+1}^n. \quad (7)$$

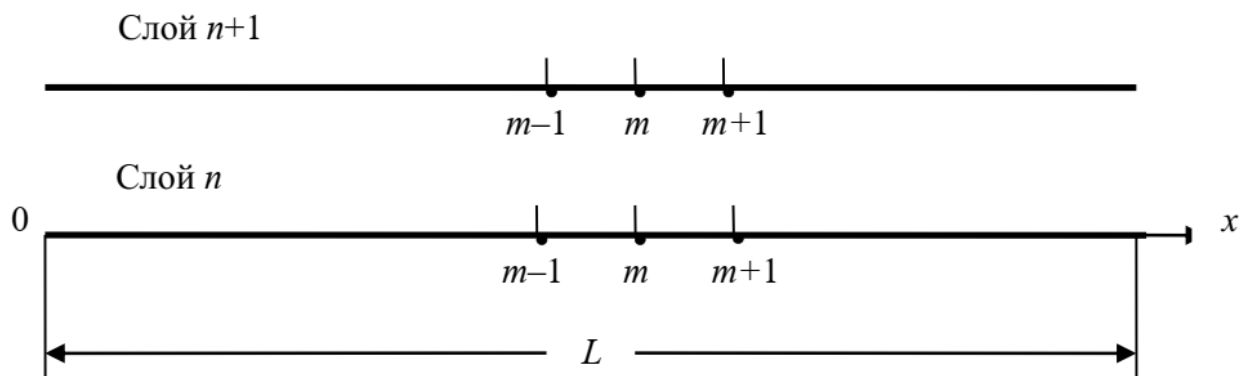


Рис. 1. Условное разделение горной выработки на участки длиной  $\Delta x$  с указанием временных слоев

Разрешим уравнение (7) относительно искомой функции  $\tilde{C}_{m+1}^{n+1}$  и получим

$$\tilde{C}_{m+1}^{n+1} = \tilde{C}_{m+1}^n + [(\bar{u}\tilde{C})_m^n - (\bar{u}\tilde{C})_{m+2}^n]Cu / 2 + (\tilde{C}_m^n - 2\tilde{C}_{m+1}^n + \tilde{C}_{m+2}^n)Pe + \bar{i}_{m+1}^n, \quad (8)$$

где  $\bar{u} = u / |u_{\max}|$  – относительная скорость перемещения смеси газов вдоль горной выработки;  
 $|u_{\max}|$  – максимальная скорость, м/с;

$$Cu = \frac{|u_{\max}| \Delta\tau}{\Delta x} \quad \text{– число Куранта;}$$

$$Pe = \frac{D_x \Delta\tau}{\Delta x^2} \quad \text{– число Пекле;}$$

$$\bar{i} = i \Delta\tau \quad \text{– относительная интенсивность газовыделения.}$$

Зная теперь согласно уравнению (8) значение концентрации справа, найдем ее значение в центральной точке, исходя из формулы (6):

$$\begin{aligned} \tilde{C}_m^{n+1} = & \frac{1}{1 + 2pPe} \{ \tilde{C}_m^n + [(\bar{u}\tilde{C})_{m-1}^n - (\bar{u}\tilde{C})_{m+1}^n]Cu / 2 + (1-p)(\tilde{C}_{m-1}^n - 2\tilde{C}_m^n + \tilde{C}_{m+1}^n)Pe + \\ & + [\tilde{C}_{m-1}^{n+1} + \tilde{C}_{m+1}^n + [(\bar{u}\tilde{C})_m^n - (\bar{u}\tilde{C})_{m+2}^n]Cu / 2 + (\tilde{C}_m^n - 2\tilde{C}_{m+1}^n + \tilde{C}_{m+2}^n)Pe + \bar{i}_{m+1}^n]pPe + \bar{i}_m^n \}. \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, предлагаемая расчетная схема может быть реализована при оценке газовой обстановки в горных выработках угольных шахт.

Анализ предлагаемой расчетной схемы (9) показывает, что условием устойчивого расчета является требование

$$Pe < 1/2. \quad (10)$$

Исходя из отношения критериальных чисел, найдем необходимый при расчетах шаг по длине горной выработки

$$\frac{Cu}{Pe} = \frac{|u_{\max}| \Delta x}{D_x},$$

откуда получим, что необходимый шаг равен

$$\Delta x = \frac{Cu}{Pe} \frac{D_x}{|u_{\max}|}. \quad (11)$$

Входящие в формулу числа Куранта и Пекле должны быть заранее определены из условия расчета (10). Согласно предложенной модифицированной схемой (9) с центральными разностями предлагается расчетная схема формирования газовых режимов в аварийном участке шахты. В качестве примера рассмотрим перенос газов по горной выработке при возникновении в ее начале источника газовой выделению. Исходя из требований расчета (10), примем число Куранта  $Cu = 0,25$  и число Пекле  $Pe = 1/3$ . При расчетах в качестве начального и граничных используем условия

$$\tilde{C}(x, 0) = 0; \quad \tilde{C}(0, \tau) = 1; \quad \frac{\partial \tilde{C}(L, \tau)}{\partial x} = 0, \quad (12)$$

где  $L$  – длина горной выработки, м.

Кроме того, примем, что источники газовой выделению по длине отсутствуют ( $\bar{i}_m^n = 0$ ). На рисунке 2 представлены результаты расчета согласно предложенной расчетной схеме (9) загазования горной выработки при появлении в ее начале постоянного источника газовой выделению.

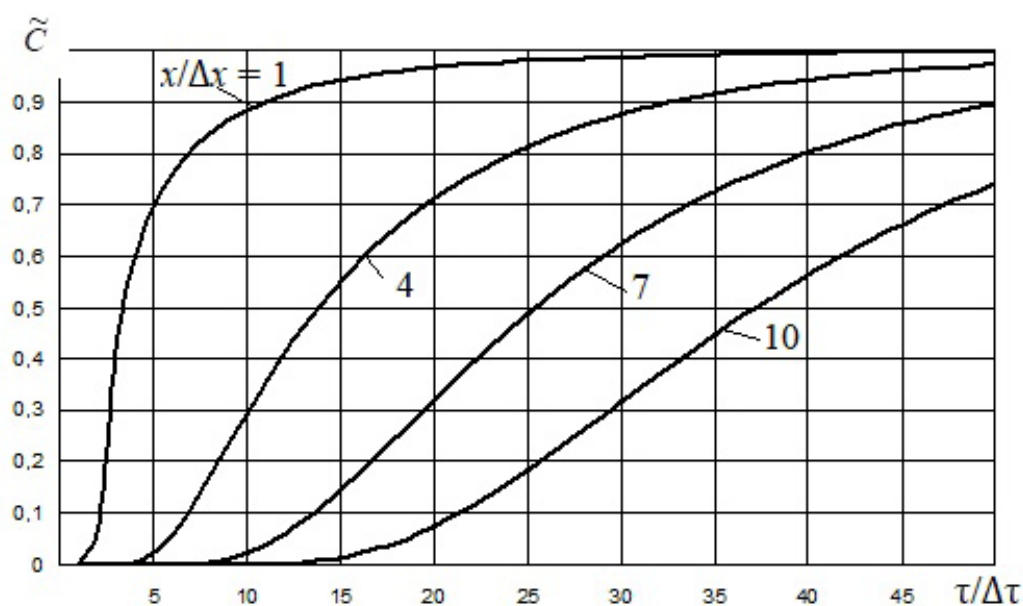


Рис. 2. Динамика загазования горной выработки при различных сечениях

Анализ полученных результатов позволил установить, что предложенная расчетная схема правильно отражает процессы массопереноса.

Определим шаги по длине горной выработки и во времени при следующих исходных данных:  $Cu = 0,25$ ;  $Pe = 1/3$ ;  $|u_{max}| = 1$  м/с;  $S = 9$  м<sup>2</sup>, здесь  $S$  – средняя площадь поперечного сечения горной выработки, м<sup>2</sup>. Согласно формуле (11) найдем  $\Delta x \approx 7$  м и  $\Delta \tau = 1,7$  с. Используя эти данные, можно перейти к реальному масштабу времени и пространства. Так, очевидно, что на расстоянии  $x = 70$  м через 0,5 мин появится газ (см. рис. 2), а через минуту на этом расстоянии концентрация газа будет равна  $0,5C_{max}$ , где  $C_{max}$  – конечная (максимальная) концентрация какого-либо газа в выработке, кг/м<sup>3</sup>.

Выполним сравнение результатов данного расчета и принятых параметров ( $i = 0$ ,  $u = \text{const}$ ,  $D_x = \text{const}$ ) по разностной схеме с аналитическим решением уравнения (5) при начальном и граничных условиях (12):

$$C(x, \tau) = 0,5 \left\{ 1 + \Phi \left( \frac{u\tau - x}{2\sqrt{D_x\tau}} \right) + \exp \left( \frac{ux}{D_x} \right) \left[ 1 - \Phi \left( \frac{u\tau + x}{2\sqrt{D_x\tau}} \right) \right] \right\}, \quad (13)$$

где  $\Phi$  – интеграл вероятности.

Результаты моделирования и расчетов (рис. 3) по формуле (13) позволили установить, что наилучшего приближения можно достичь, принимая числа Пекле  $Pe = 1/3$  и Куранта  $Cu = 0,5$ , а удельный вес неявной схемы  $p = 0,25$ .

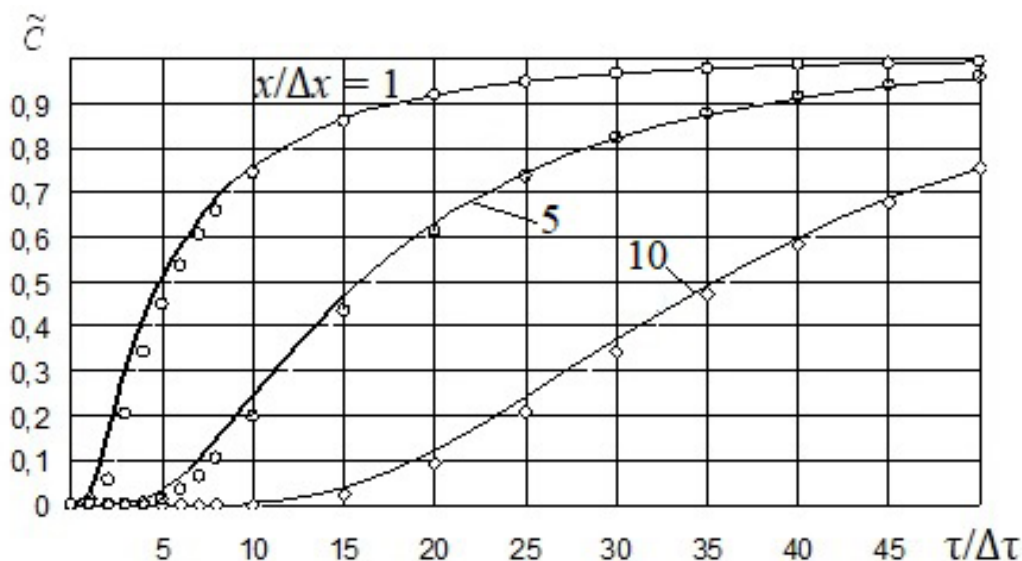


Рис. 3. Результаты моделирования (маркеры  $\circ$  и  $\diamond$ ) и аналитические зависимости концентрации метана от времени на различных расстояниях от источника газовыделения в проветриваемой горной выработке

При отсутствии проветривания горной выработки ( $u = 0$ ) решение (13) принимает вид

$$C(x, \tau) = 1 - \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{D_x \tau}}\right).$$

Результаты моделирования и аналитических расчетов чистой диффузии газов в непроветриваемой горной выработке представлены на рисунке 4.

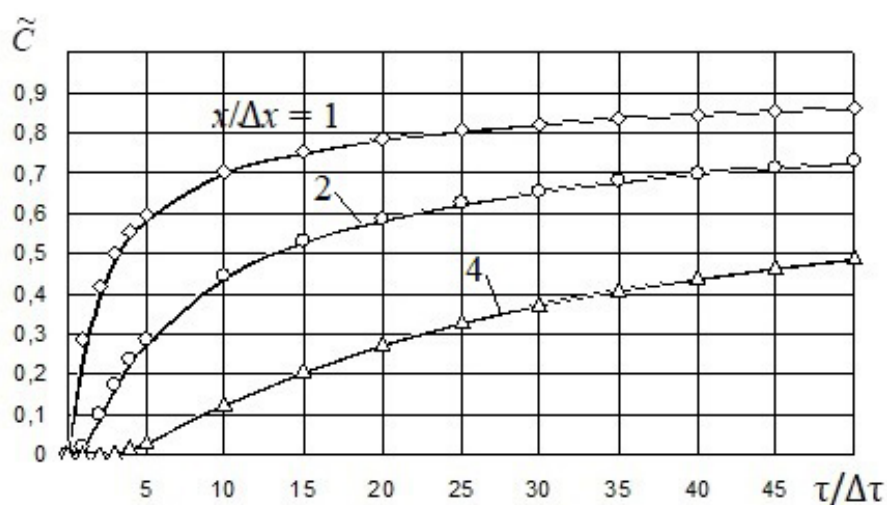


Рис. 4. Результаты моделирования (маркеры  $\diamond$ ,  $\circ$  и  $\Delta$ ) и аналитические зависимости концентрации метана от времени на различных расстояниях от источника газовыделения в непроветриваемой выработке

Как видно из результатов сравнения расчетных данных с аналитическими зависимостями, предлагаемая схема достоверно отражает процессы загазования горной выработки при ее проветривании и при чистой диффузии газов.

Рассмотрим пример загазования горной выработки при действии мгновенного источника газовыделения в каком-либо месте. В этом случае начальное и граничные условия:

$$1) \tilde{C}(x_i, 0) = 1; \quad 2) \tilde{C}(0, \tau) = 0; \quad 3) \tilde{C}(L, \tau) = 0,$$

где  $x_i$  – место действия мгновенного источника газовыделения, м.

На рисунке 5 представлена динамика концентраций метана в различных сечениях выработки при действии мгновенного источника газовыделения, расположенного в начале выработки (на расстоянии  $x_i = 4\Delta x$ ). Здесь  $x_i$  – место действия источника газовыделения, м. При расчетах приняты числа Куранта  $Cu = 0,5$  и Пекле  $Pe = 1/3$ . При этом максимум концентрации газа находится при  $u\tau = x$  и при числе Куранта  $Cu = 0,5$  требуется 1,5 шага по времени для достижения максимума. Для уменьшения шагов по времени с достаточной степенью точности, как установлено, во всех расчетах можно принимать число Куранта  $Cu \leq 0,5$ .

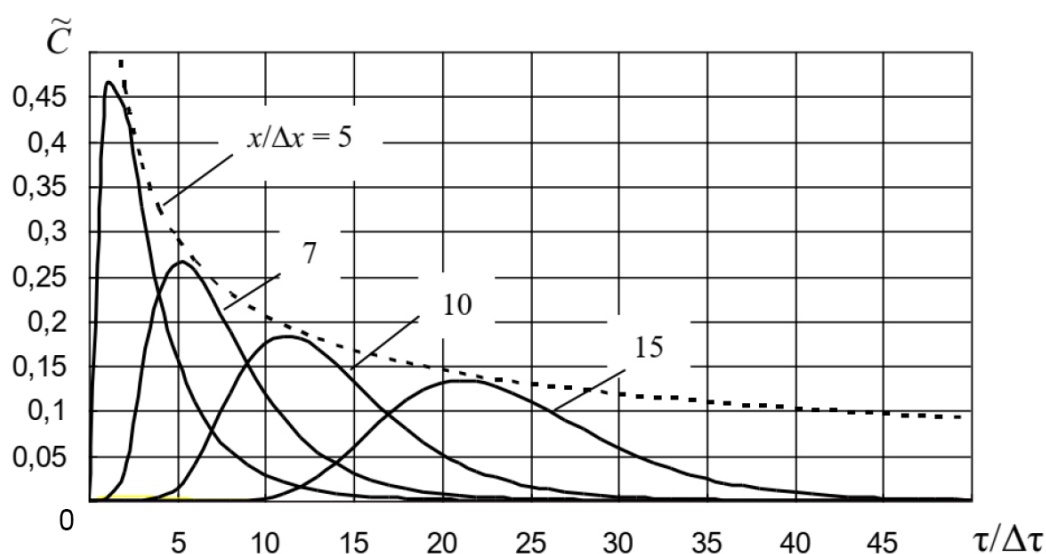


Рис. 5. Динамика концентраций метана в различных сечениях горной выработки при действии мгновенного источника газовыделения

Определим шаги по длине горной выработки и по времени при исходных данных:  $Cu = 0,5$ ;  $Pe = 1/3$ ;  $S = 9 \text{ м}^2$ ;  $|u_{\max}| = 1 \text{ м/с}$ . Очевидно, что на расстоянии от источника газовыделения  $x = (15 - 4) \cdot 13,5 \approx 150 \text{ м}$  через 2,5 мин будет максимальная концентрация газа (см. рис. 5).

Таким образом, предлагаемая расчетная схема позволяет получать численным методом достоверные данные о нестационарных процессах переноса газов в горных выработках с источниками газовыделения при пожарах.

Для определения достоверности результатов теоретических исследований использованы экспериментальные данные, полученные С. Н. Осиповым, В. М. Жаданом и другими специалистами при изучении динамики развития экзогенного пожара в подземных условиях штольни, представляющей собой проветриваемую горизонтальную выработку длиной 181 м и сечением 4,2 м<sup>2</sup>.

Динамику концентраций газов при пожаре исследовали путем дистанционного отбора проб воздуха и дальнейшего их газового анализа. Результаты обработаны путем усреднения данных исследований распространения пожарных газов на различных расстояниях по длине выработки от очага пожара. Выполнен теоретический расчет динамики газов по длине выработки, обработка экспериментальных данных и расчет выполнены для каждого газа согласно формуле (13).

Результаты экспериментальных исследований концентраций газов во времени на различных расстояниях по длине выработки от очага пожара и расчетные кривые графически представлены на рисунках 6–10. Максимальная относительная погрешность теоретических данных с результатами экспериментальных исследований не превышает 14 %.

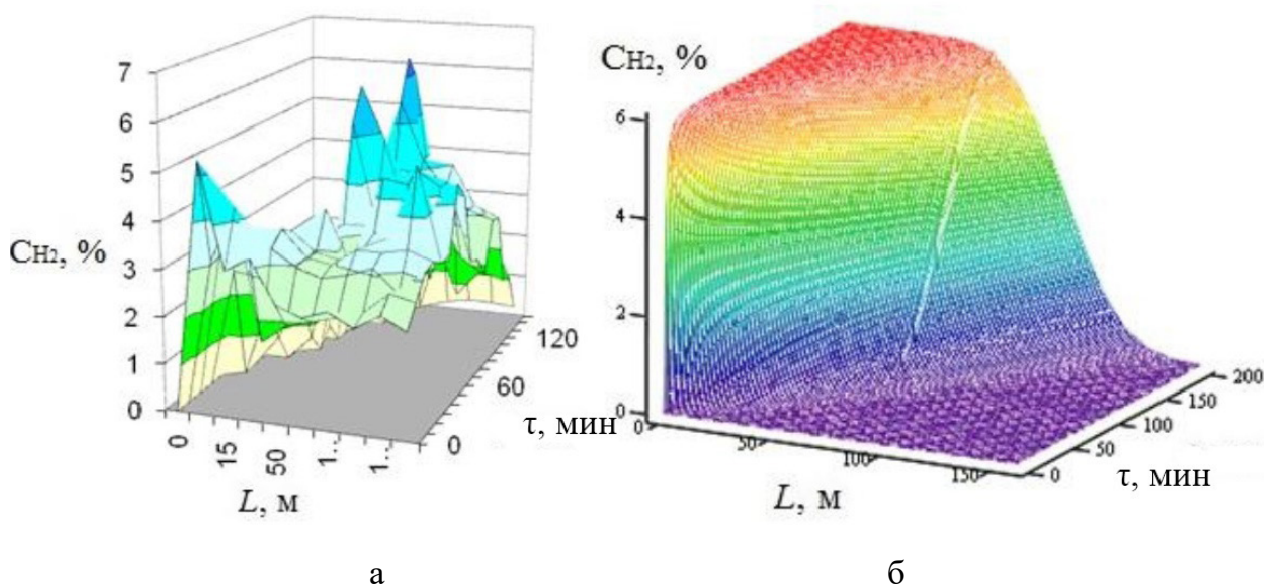


Рис. 6. Зависимость концентраций водорода от времени и расстояния от очага пожара:  
а) экспериментальные данные; б) теоретический расчет

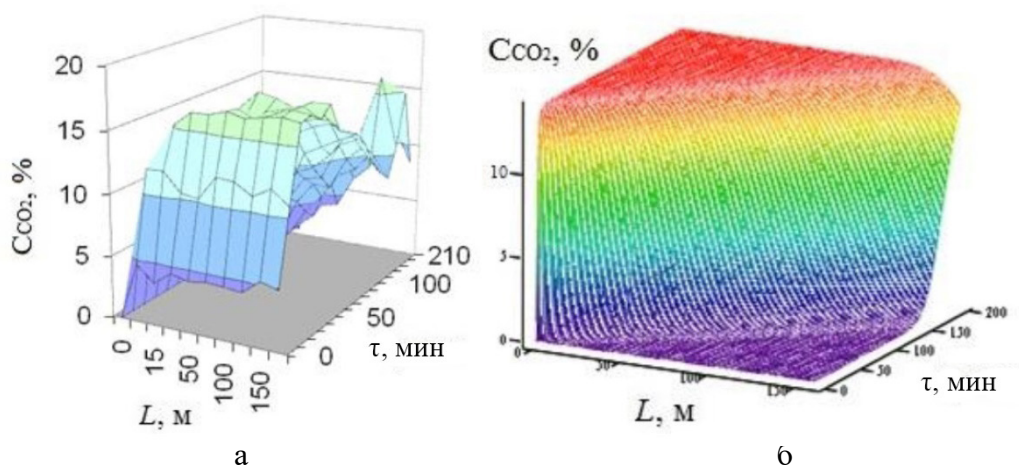


Рис. 7. Зависимость концентраций диоксида углерода от времени и расстояния от очага пожара:

а) экспериментальные данные; б) теоретический расчет

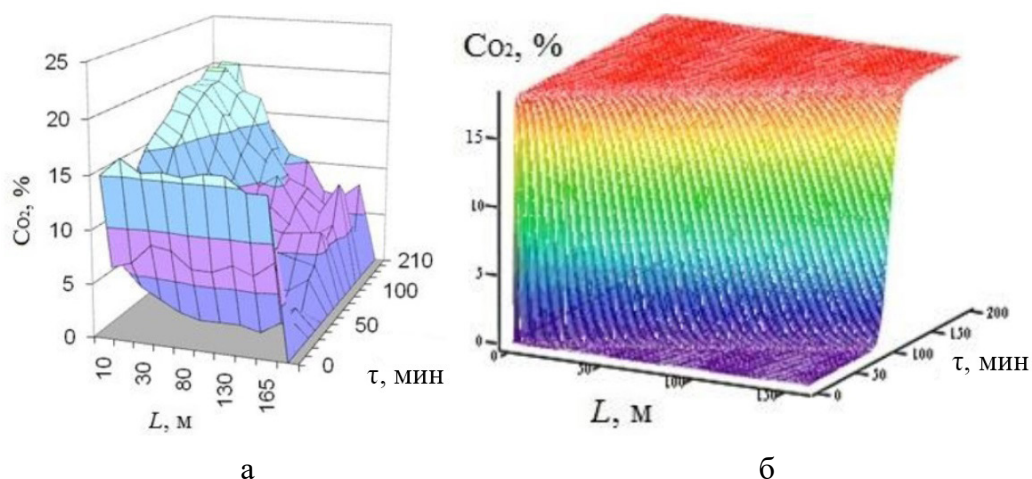


Рис. 8. Зависимость концентраций кислорода от времени и расстояния от очага пожара:

а) экспериментальные данные; б) теоретический расчет

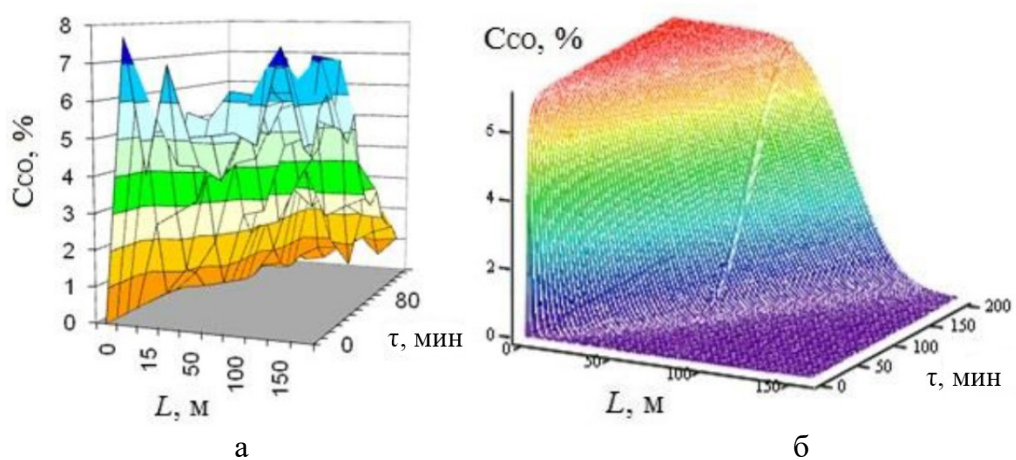


Рис. 9. Зависимость концентраций оксида углерода от времени и расстояния от очага пожара:

а) экспериментальные данные; б) теоретический расчет

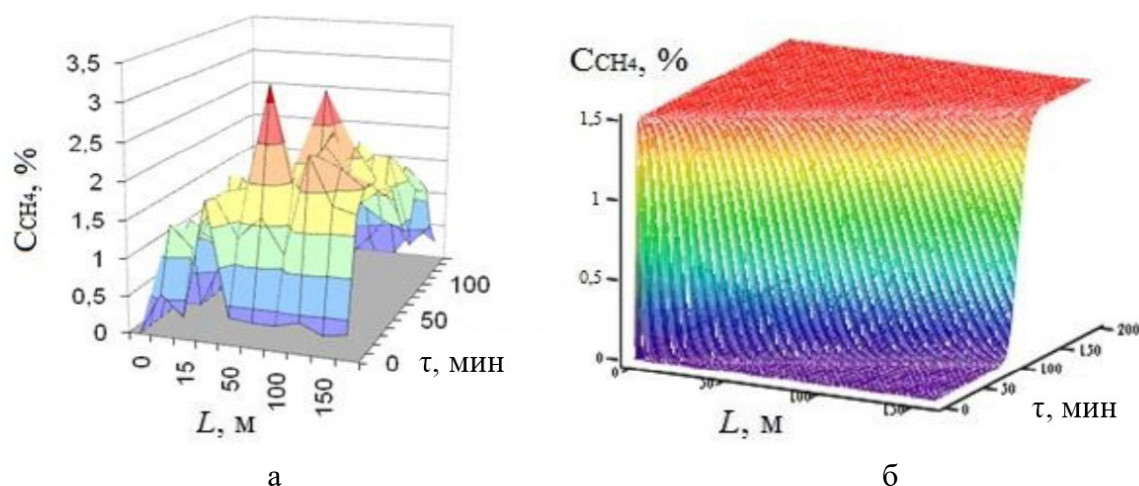


Рис. 10. Зависимость концентраций метана от времени и расстояния от очага пожара:  
а) экспериментальные данные; б) теоретический расчет

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Разработана математическая модель процесса массопереноса в аварийных участках угольных шахт, установлены аналитические зависимости скорости распространения пожарных газов при нестационарных процессах массопереноса, отличающиеся от известных возможностью прогнозировать газовую обстановку по длине горной выработки в зависимости от условий проветривания, ее геометрических размеров, коэффициентов массопереноса и наличия источников газовыделения.

Перспективные направления дальнейших научных работ – исследование нестационарного и стационарного распределения температуры и концентраций пожарных газов в трехмерном виде по длине и сечению тупиковых выработок и выемочных участков шахт при экзогенных пожарах с учетом стока тепла, а также поглощения и осаждения пожарных газов на стенках.

#### 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]. *Gornyyu 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: 16.04.2024).

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 monotoringa 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. 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 2<sup>nd</sup> edition, revised and supplemented]. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy gornyy universitet Press, 2004, 481 p. (In Russian)

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

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

8. 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 pozharovzryvobezопасности : 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)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.Г. Агеевым  
Дата поступления рукописи 16.04.2024  
Дата опубликования 19.06.2024

*Valery Vladimirovich Mamayev, Dr. Sci. (Tech.), deputy director (on science);*  
e-mail: [respirator@80mchs.gov.ru](mailto:respirator@80mchs.gov.ru)

*Aleksandr Vladislavovich Agarkov, Cand. Sci. (Tech.), head of department;*  
e-mail: [aleksander\\_agarkov@mail.ru](mailto: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 NON-STATIONARY MASS TRANSFER PROCESSES IN MINE WORKINGS DURING EXOGENIC FIRES

**Objective.** Study of non-stationary processes of mass transfer in mine workings during exogenous fires and establishment of dependencies for the distribution of fire gases in emergency areas to predict their gas content during emergency rescue operations.

**Methods.** A comprehensive research method was used, including analysis of scientific sources, theoretical research and comparison of the results obtained with experimental data. Mathematical modeling was performed using the laws of mass transfer, the theory of differential equations and numerical methods for solving them, methods of mathematical statistics for processing research results using applied computer program packages.

**Results.** A mathematical model of the mass transfer process in emergency areas of coal mines has been developed, dependencies have been established that make it possible to numerically predict the dynamics of the spread of fire gases along the length of mine workings.

**Scientific novelty.** Analytical dependences of the rate of propagation of fire gases during non-stationary mass transfer processes have been established, which differ from the known ones by the ability to predict the gas situation along the length of the emergency section depending on ventilation conditions, geometric dimensions of workings, mass transfer coefficients and the presence of gas release sources.

**Practical value.** The research results make it possible to predict the dynamics of concentrations of fire gases in mine workings in order to develop scientifically based recommendations for their use by mine rescue units when conducting emergency rescue operations in mines.

**Keywords:** *coal mine; emergency area; excavation; exogenous fire; non-stationary mass transfer processes; fire gas concentrations; math modeling; experimental studies.*

**For citation.** Mamayev V. V., Agarkov A. V. Study on non-stationary mass transfer processes in mine workings during exogenous fires. *Nauchnyy vestnik NII “Respirator”*, 2024, no. 2(61), pp. 18-31. EDN SQSAWJ.

УДК [614.842.12:630\*432.3]:001.891.3

*Денис Александрович Тимошенко, врио начальника; e-mail: [den.timosshenko@gmail.com](mailto:den.timosshenko@gmail.com)*

*Государственное бюджетное учреждение*

*«Пожарно-спасательный отряд г. Волноваха МЧС ДНР»*

*285703, Волновахский р-н, г. Волноваха, Энергетический пер., д. 6. Тел.: +7 (949) 311-73-74*

*Дарья Федоровна Балта, науч. сотр.; e-mail: [balta\\_darya@mail.ru](mailto:balta_darya@mail.ru);*

*Дмитрий Сергеевич Буряк, науч. сотр.; e-mail: [buryak\\_ds@mail.ru](mailto:buryak_ds@mail.ru);*

*Игорь Феликсович Дикенштейн, науч. сотр.; e-mail: [opbush@mail.ru](mailto:opbush@mail.ru)*

*Федеральное государственное казенное учреждение*

*«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»*

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТУШЕНИЯ НИЗОВЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ МЕЛКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

**Цель.** Исследование процессов тушения низовых лесных пожаров для научного обоснования тактико-технических параметров пожаротушения мелкораспыленной водой.

**Методы.** Применен комплексный метод исследования, включающий анализ литературных источников, проведение теоретических исследований с использованием системы уравнений, описывающих тепловой баланс при нагреве и испарении капель мелкораспыленной воды в зоне пламенного горения.

**Результаты.** Установлены зависимости времени тушения пламени лесного горючего материала, а также интенсивности подачи воды при ликвидации очагов тления на кромке низового лесного пожара.

**Научная новизна.** Впервые раскрыт механизм флегматизации водяным паром очага горения лесного горючего материала, заключающийся в замещении кислорода и образовании огнетушащей концентрации водяного пара, возникающего вследствие испарения мелкораспыленной воды в зоне горения.

**Практическая значимость.** Результаты проведенного исследования могут быть использованы для обоснования тактико-технических параметров тушения низовых лесных пожаров.

**Ключевые слова:** *низовые лесные пожары; процесс тушения пожара; мелкораспыленная вода; теоретические исследования; флегматизация.*

**Для цитирования:** *Тимошенко Д. А., Балта Д. Ф., Буряк Д. С., Дикенштейн И. Ф. Исследование процессов тушения низовых лесных пожаров мелкораспыленной водой // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 32–43. EDN LZWPZO.*

**Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями.** Низовые лесные пожары составляют абсолютное большинство от общего количества всех пожаров в лесу [1]. Причины возгораний могут быть природными (так называемые сухие грозы) и связанными с человеческим фактором (курение, выхлопные газы и искры от двигателей работающих машин и механизмов, непогашенные костры).

Низовые лесные пожары приводят к ряду негативных последствий: разрушается структура почвы, происходит ее стерилизация, увеличивается ветровая и водная эрозия, периодически возникающие пожары нарушают водный баланс и препятствуют почвообразовательному процессу.

Процесс тушения низовых лесных пожаров сложен и трудоемок. Его эффективность во многом зависит от организованных и слаженных действий всех участников тушения. Проблема борьбы с низовыми лесными пожарами, несмотря на ее актуальность, сегодня далека от решения. В значительной степени это обусловлено большими масштабами пожаров, а также разнообразием условий их возникновения и распространения.

Решение проблемы лесных пожаров требует комплексного подхода, который должен базироваться на сочетании мер профилактики возникновения и распространения пожаров с высокой оперативностью их обнаружения, поиске наиболее эффективных способов тушения возникших пожаров и тактико-технических приемов борьбы с ними.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Эффективность применения различных технических средств, используемых для тушения лесных пожаров, приведена в работах [2, 3]. Авторами работ [4–6] установлено, что для максимально возможного снижения температуры в пламенной зоне горения целесообразно применить мелкодисперсное распыление огнетушащей жидкости (в частности, воды). Так, например, в работе [5] установлено, что при диаметрах капель воды 50...500 мкм жидкость в области пламени практически полностью испаряется. Пар, вытесняющий из зоны горения кислород, оказывает флегматизирующее действие и подавляет реакции горения в данной зоне. Кроме того, происходит большое поглощение энергии пламени вследствие значительного теплового эффекта. Температура смеси продуктов сгорания и водяных паров снижается до 300...450 К [4, 6].

Параметры тушения пожаров мелкораспыленной водой в начальной стадии их возникновения рассмотрены в работах [7, 8], однако в настоящее время отсутствует единая методика расчета расхода мелкораспыленной воды при ликвидации горения различных горючих материалов, включая лесной горючий материал. В работах [1–9] не был рассмотрен механизм флегматизации водяным паром очага горения при тушении низовых лесных пожаров.

Большое распространение при тушении лесных пожаров получили ранцевые огнетушители, выбор которых достаточно широк. Они различаются по материалу емкости (прорезиненная ткань, палаточная ткань, сталь) и по способу подачи струи (ручной насос, избыточное давление воздуха). Конструкция данного типа огнетушителей обеспечивает мобильность пожарного, что важно при локализации и ликвидации лесных пожаров.

Для повышения эффективности применяемых средств пожаротушения низовых лесных пожаров необходимо выполнить теоретические исследования по определению времени тушения пламени лесного горючего материала, а также интенсивности подачи воды при ликвидации очагов тления на кромке низового лесного пожара.

На основании вышеизложенного, **цель статьи** – исследование процессов тушения низовых лесных пожаров для научного обоснования тактико-технических параметров пожаротушения мелкораспыленной водой.

**Результаты исследований.** Зону горения на кромке низового лесного пожара можно условно представить в виде параллелепипеда (рис. 1) с объемом

$$V_{\text{з.гор}} = a b h,$$

где  $V_{\text{з.гор}}$  – объем зоны горения на кромке пожара, м<sup>3</sup>;

$a, b$  – средняя длина и ширина кромки пожара, м, соответственно;

$h$  – средняя высота пламени на кромке пожара, м.

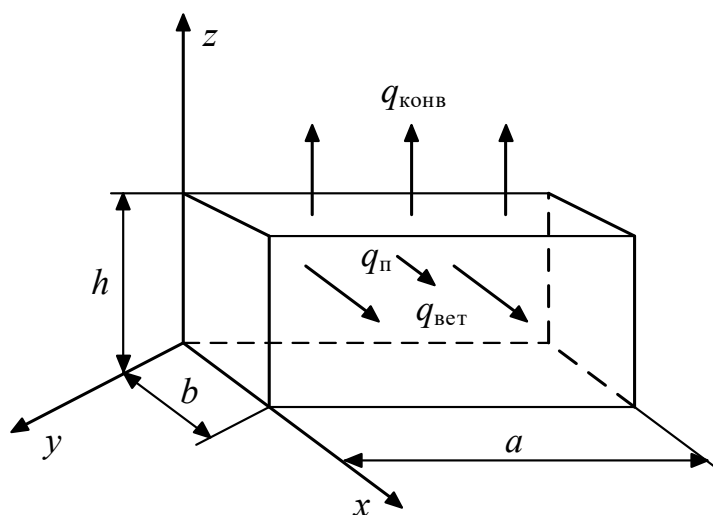


Рис. 1. Модель зоны горения на кромке низового лесного пожара:

$q_{\text{п}}$  – расход пара, поступающего в зону горения, м<sup>3</sup>/с;  $q_{\text{конв}}$  – потери пара, выносимые из зоны горения конвективными потоками, м<sup>3</sup>/с;  $q_{\text{вет}}$  – потери пара на кромке пожара, уносимые ветром, м<sup>3</sup>/с

При поступлении в зону горения мелкораспыленная вода испаряется, что приводит к замещению кислорода и образованию огнетушащей концентрации водяного пара. При заполнении водяным паром зоны горения возникает интенсивное образование паровоздушной смеси, происходящее согласно зависимости

$$V_{\text{з.гор}} \frac{dc}{d\tau} = q_{\text{п}} - q_{\text{конв}} - q_{\text{вет}}, \quad (1)$$

где  $c$  – текущая концентрация пара в зоне горения, доли;

$\tau$  – время, с;

$q_{\text{п}}$  – расход пара, поступающего в зону горения, м<sup>3</sup>/с;

$q_{\text{конв}}$  – потери пара, выносимые из зоны горения конвективными потоками, м<sup>3</sup>/с;

$q_{\text{вет}}$  – потери пара на кромке пожара, уносимые ветром, м<sup>3</sup>/с.

Расход пара  $q_{\text{п}}$  определяют по формуле

$$q_{\text{п}} = k_{\text{исп}} q_{\text{в}}, \quad (2)$$

где  $k_{\text{исп}}$  – коэффициент увеличения объема образовавшегося пара по сравнению с объемом испарившейся воды, 1720;

$q_{\text{в}}$  – расход мелкораспыленной воды, подаваемой в очаг пожара, м<sup>3</sup>/с.

Потери пара  $q_{\text{конв}}$  составляют

$$q_{\text{конв}} = a b c v_{\text{конв}}, \quad (3)$$

где  $v_{\text{конв}}$  – скорость конвективных потоков над зоной горения, м/с.

Скорость газовых потоков над низовыми лесными пожарами с небольшим запасом горючего материала обычно не превышает 2...5 м/с [10].

Потери пара на кромке пожара, уносимые ветром,  $q_{\text{вет}}$  следует определять согласно зависимости

$$q_{\text{вет}} = a h c v_{\text{вет}}, \quad (4)$$

где  $v_{\text{вет}}$  – скорость ветра, м/с.

Подставляя в (1) выражения (2), (3) и (4), получаем следующее уравнение:

$$abh \frac{dc}{d\tau} = q_{\text{п}} - abc v_{\text{конв}} - ahc v_{\text{вет}}. \quad (5)$$

Выполнив интегрирование уравнения (5), получаем выражение для определения текущей концентрации пара в зоне горения

$$\ln \left| c - \frac{q_{\text{п}}}{abhA} \right| = -A\tau + R,$$

где  $A = \left( \frac{v_{\text{конв}}}{h} + \frac{v_{\text{вет}}}{b} \right)$ , с<sup>-1</sup>;

$R$  – постоянная интегрирования.

С учетом начальных условий при  $\tau = 0$  и  $c = 0$  время тушения лесного горючего материала определяют согласно зависимости

$$\tau = \frac{\ln |B(c - B)|}{-A},$$

где  $B = \frac{q_{п}}{abhA}$ .

Удельный объем подаваемой воды на 1 м длины кромки низового лесного пожара  $V_{уд}$ ,  $\text{дм}^3/\text{м}$ , рассчитывают согласно формуле из работы [11]

$$V_{уд} = \frac{q\tau_k k}{L},$$

где  $q$  – производительность ранцевого огнетушителя,  $\text{дм}^3/\text{с}$ ;

$\tau_k$  – время тушения кромки лесного пожара, с;

$k$  – коэффициент использования рабочего времени, равный 0,85;

$L$  – длина кромки низового лесного пожара, м.

Для расчета времени нагревания капли мелкораспыленной воды до температуры кипения (предполагая, что нагревание проходит на участке от точки вылета из огнетушителя до очага горения на кромке пожара) необходимо использовать формулу

$$\tau_n = \frac{\rho_v c_v d_k}{6\alpha} \ln \left( \frac{\bar{T} - T_{к0}}{\bar{T} - T_{кип}} \right),$$

где  $\tau_n$  – время нагревания капли воды до температуры кипения, с;

$\rho_v$  – плотность воды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$c_v$  – удельная теплоемкость воды,  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;

$d_k$  – средний размер капель распыленной воды, м;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи поверхности капли воды,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ;

$\bar{T}$  – среднеобъемная температура окружающей среды у кромки, К;

$T_{к0}$  – начальная температура капли воды, К;

$T_{кип}$  – температура кипения воды, К.

Принимаем текущую скорость капли воды  $V_k$ , м/с, равной ее средней скорости  $\bar{V}_k$ , м/с, определенной по формуле

$$\bar{V}_k = \frac{V_{к0} + V_{кн}}{2},$$

где  $V_{к0}$  – начальная скорость капли воды, м/с;

$V_{кн}$  – конечная скорость капли воды, м/с.

Для испаряющейся капли  $V_{кн} = 0$ .

Начальную скорость вылета капли из распылителя определяют по формуле из работы [12]

$$V_{к0} = \sqrt{120 \Delta p},$$

где  $\Delta p$  – избыточное давление в огнетушителе, Па;

120 – числовой коэффициент, м<sup>3</sup>/кг.

Для минимизации расхода мелкораспыленной воды на тушение локального очага низового лесного пожара ее подачу необходимо осуществлять таким образом, чтобы капли воды нагревались до температуры кипения при их движении от распылителя до очага пожара. Тогда

$$\bar{V}_к = \frac{V_{к0} + V_{кн}}{2} = \frac{\sqrt{120 \Delta p}}{2} = \sqrt{30 \Delta p}.$$

Расстояние, пройденное каплей при ее нагревании до температуры кипения  $L_1$ , м, следует определять по формуле

$$L_1 = \frac{\rho_в c_в d_к \sqrt{30 \Delta p}}{6\alpha} \ln \left( \frac{\bar{T} - T_{к0}}{\bar{T} - T_{кип}} \right).$$

При подаче мелкораспыленной воды необходимо учитывать размер капель, поскольку исходящие из зоны горения конвективные потоки способны увлекать и выносить неиспарившиеся капли из очага горения.

Время полного испарения капли  $\tau_{ис}$ , с, определяют по формуле из работы [13]

$$\tau_{ис} = \frac{\rho_в R_в d_к^2}{2\lambda(T_ф - T_{кип})},$$

где  $R_в$  – теплота парообразования, Дж/кг;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности горячего газа, Вт/(м·К);

$T_ф$  – средняя температура факела пламени, К.

Наиболее эффективное тушение происходит при полном испарении капли мелкораспыленной воды в локальном очаге горения. Следовательно, длину участка испарения  $L_2$ , м, необходимо рассчитывать по формуле

$$L_2 = \tau_{ис} \bar{V}_к.$$

Для полного испарения капли в зоне горения должно выполняться следующее условие:

$$b \geq L_2 \geq \frac{\rho_{\text{в}} R_{\text{в}} d_{\text{к}}^2 \sqrt{30 \Delta p}}{2\lambda(T_{\text{ф}} - T_{\text{кип}})}.$$

Струю мелкораспыленной воды следует подавать в очаг горения на высоте  $h_{\text{в}}$ , м, определяемой по формуле

$$h_{\text{в}} = \frac{h}{2}.$$

Это способствует равномерному распределению образующегося пара по объему зоны горения.

Минимальное значение расчетной критической интенсивности подачи мелкораспыленной воды для ликвидации очагов тления  $J_{\text{кр}}$ ,  $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , при котором горение не прекращается, определяют по формуле из работы [13]

$$J_{\text{кр}} = \frac{J_{\text{т}}}{Q},$$

где  $J_{\text{т}}$  – среднее значение плотности тепловыделения на кромке пожара,  $\text{кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;

$Q$  – удельный эффект охлаждения 1 л воды при полном ее испарении и нагревании до температуры пламени,  $4400 \text{ кВт}/\text{дм}^3$ .

Нормативную интенсивность подачи воды на тушение пожара  $J_{\text{н}}$ ,  $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , определяют по формуле

$$J_{\text{н}} = K_3 J_{\text{кр}},$$

где  $K_3 = \min(K_3^1 \cdot K_3^2)$  – коэффициент запаса;

$K_3^1$  – коэффициент, учитывающий влажность воздуха [14];

$K_3^2$  – коэффициент, учитывающий влажность пожарной нагрузки [14].

Расчетные значения нормативной интенсивности подачи воды на тушение кромки низовых лесных пожаров приведены в таблице 1.

Таким образом, интенсивность подачи воды зависит от плотности тепловыделения на кромке пожара, которая определяется геометрическими размерами пламени.

Таблица 1

Расчетные значения нормативной интенсивности подачи воды  
на тушение кромки низовых лесных пожаров

Высота пламени $h$ , м	Ширина кромки $b$ , м	Плотность тепловыделения на кромке пожара $J_p$ , кВт/(м <sup>2</sup> ·с)	Интенсивность подачи воды, дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с)	
			критическая $J_{кр}$	нормативная $J_n$
1,0	1,9	137,56	0,0313	0,0626
1,5	3,75	168,01	0,0382	0,0764
2,0	5,6	210,07	0,0477	0,0954
2,5	7,45	256,23	0,0582	0,1164
3,0	9,3	304,88	0,0693	0,1386

Для эффективного пожаротушения предлагается использовать ранцевый огнетушитель ОВР (рис. 2), конструкция которого позволяет осуществлять тушение очага пожара мелкораспыленной водой.



Рис. 2. Ранцевый огнетушитель ОВР:

1 – емкость для воды; 2 – водяной пистолет высокого давления; 3 – форсунка для создания мелкораспыленной струи воды (при необходимости – сплошной струи воды)

В ходе подконтрольной эксплуатации опытного образца ранцевого огнетушителя ОВР была подтверждена его высокая эффективность тушения низовых лесных пожаров мелкораспыленной водой.

Вытеснение воды в ОВР осуществляется источником автономной энергии – водяным насосом от аккумуляторной батареи, оснащенной функцией BMS для контроля исправности устройства, величины токов заряда/разряда, падения

величины напряжения ниже допустимого уровня, утечки тока и состояния элементов аккумуляторной батареи.

Основные технические характеристики ранцевого огнетушителя ОВР приведены в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики ранцевого огнетушителя ОВР

Показатель	Значение
Вместимость емкости, дм <sup>3</sup> , не менее	15
Продолжительность приведения в действие огнетушителя, с, не более	5
Длина мелкораспыленной струи воды, м, не менее	4
Продолжительность непрерывной подачи огнетушащего вещества, с, не менее	360
Производительность, дм <sup>3</sup> /с	0,04
Снаряженная масса огнетушителя, кг, не более	22

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** На основании проведенных исследований установлены:

- механизм флегматизации (замещение кислорода паром) является доминирующим для мелкораспыленной воды со средним диаметром капель не более 150 мкм при тушении низовых лесных пожаров;
- зависимости для расчета времени ликвидации пламенного горения и для определения интенсивности подачи воды при ликвидации очагов тления на кромке низового лесного пожара.

Впервые раскрыт механизм флегматизации водяным паром очага горения лесного горючего материала, заключающийся в замещении кислорода и образовании огнетушащей концентрации водяного пара, возникающего вследствие испарения мелкораспыленной воды в зоне горения.

Результаты проведенного исследования могут быть использованы для обоснования тактико-технических параметров тушения низовых лесных пожаров.

#### Список литературы / References

1. Журавлева, Л. А. Лесные пожары. Состояние и проблемы в российских лесах / Л. А. Журавлева // Техносферная безопасность: наука и практика : материалы международной научно-практической конференции (Саратов, 25–27 февраля 2015 г.). – Саратов : Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова, 2015. – С. 4–6.

Zhuravleva, L. A. *Lesnye pozhary. Sostoyanie i problemy v rossiyskikh lesakh* [Forest fires. State and problems in Russian forests]. *Technosphere safety: science and practice materials of the international scientific and practical conference* (Saratov,

February 25-27, 2015). Saratov, Saratovskiy Gosudarstvennyy Agrarnyy Universitet imeni N. I. Vavilova, 2015, pp. 4-6. (In Russian)

2. Смирнов, А. В. Проблемы оценки эффективности средств пожаротушения, основанных на применении распыленной жидкости / А. В. Смирнов // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – № 3. – С. 61–62.

Smirnov, A. V. *Problemy otsenki effektivnosti sredstv pozharotusheniya, osnovannykh na primenenii raspylyonnoy zhidkosti* [Problems of assessing the effectiveness of fire extinguishing agents based on the use of sprayed liquid]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2004, no. 3, pp. 61-62. (In Russian)

3. Цариченко, С. Г. Переносные и передвижные устройства пожаротушения с высокоскоростной подачей огнетушащих веществ. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний / С. Г. Цариченко, В. А. Белинкин, С. М. Дымов. – Москва : ВНИИПО, 2003. – 51 с.

Tsarichenko, S. G., Belinkin, V. A., Dymov, S. M. *Perenosnye i peredvizhnye ustroystva pozharotusheniya s vysokoskorostnoy podachey ognetchashchikh veshchestv. Trebovaniya pozharoy bezopasnosti. Metody ispytaniy* [Portable and mobile fire extinguishing devices with high-speed supply of fire extinguishing agents. Fire safety requirements. Test methods]. Moscow, VNIPO Publ., 2003. – 51 p. (In Russian)

4. Изучение закономерностей тушения тонкораспыленной водой модельных очагов пожара / Н. П. Копылов, А. Л. Чибисов, А. Л. Душкин, Е. А. Кудрявцев // Пожарная безопасность. – 2008. – № 4. – С. 45–58.

Kopylov, N. P., Chibisov, A. L., Dushkin, A. L., Kudryavtsev, E. A. *Izuchenie zakonomernostey tusheniya tonkoraspylyonnoy vodoy modelnykh ochagov pozara* [Studying the patterns of extinguishing model fires with finely sprayed water]. *Pozharnaya bezopasnost*, 2008, no. 4, pp. 45-58. (In Russian)

5. Численное исследование влияния условий распыления воды на температуру в следе «водяного снаряда» / О. В. Высокоморная, А. О. Марков, М. Н. Назаров, П. А. Стрижак, С. Р. Янов // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 24–31.

Vysokomornaya, O. V., Markov, A. O., Nazarov, M. N., Strizhak, P. A., Yanov, S. R. *Chislennoe issledovanie vliyaniya usloviy raspyleniya vody na temperature v slede “vodyanogo snaryada”* [Numerical study of the influence of water spray conditions on the temperature in the wake of a “water projectile”]. *Izvestiya Tomskogo Polytechnicheskogo Universiteta*, 2013, p. 322, no. 4, pp. 24-31. (In Russian)

6. Численное исследование воздействия тонкораспыленной воды на турбулентное диффузионное пламя / А. А. Шумихин, А. И. Карпов, М. А. Корепанов, В. Б. Новожилов // Химическая физика и мезоскопия. – 2012. – Т. 14, № 3. – С. 391–400.

Shumikhin, A. A., Karpov, A. I., Korepanov, M. A., Novozhilov, V. B. *Chislennoe issledovanie vozdeystviya tonkoraspylyonnoy vody na turbulentnoe*

*diffuzionnoe plamya* [Numerical study of the effect of finely atomized water on a turbulent diffusion flame]. *Chemicheskaya physica i mesoscopya*, 2012, p. 14, no. 3, pp. 391-400. (In Russian)

7. Думилин, А. И. Параметры тушения пламени горючих жидкостей распыленной водой / А. И. Думилин // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 23, № 4. – С. 85–90.

Dumilin, A. I. *Parametry tusheniya plameni goruchikh zhidkostey raspylyonnoy vody* [Parameters for extinguishing flames of flammable liquids with sprayed water]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2013, p. 23, no. 4, pp. 85-90. (In Russian)

8. Андрюшкин, А. Ю. Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой / А. Ю. Андрюшкин, М. Т. Пелех // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2012. – № 3(23). – С. 37–45.

Andryushkin, A. Yu., Pelekh, M. T. *Effektivnost pozharotusheniya tonkoraspylyonnoy vody* [Efficiency of fire extinguishing with finely sprayed water]. *Problemy upravleniya riskami v technosphere*, 2012, no. 3(23), pp. 37-45. (In Russian)

9. Волков, Р. С. Численная оценка оптимальных размеров капель воды в условиях ее распыления средствами пожаротушения в помещениях / Р. С. Волков, Г. В. Кузнецов, П. А. Стрижак // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21. – № 5. – С. 74–78.

Volkov, R. S., Kuznetsov, G. V., Strizhak, P. A. *Chislennaya otsenka optimalnykh razmerov kapel vody v usloviyakh ee raspyleniya sredstvami pozharotusheniya v pomeshcheniyakh* [Numerical assessment of the optimal sizes of water droplets under conditions of its spraying by fire extinguishing agents in premises]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2012, p. 21, no. 5, pp. 74-78. (In Russian)

10. Плотникова, Г. В. Проблемы осмотра и расследования лесных пожаров в Иркутской области / Г. В. Плотникова, П. С. Лубенец, В. В. Гармышев // Право. Безопасность. Чрезвычайные ситуации. – 2021. – № 4(53). – С. 65–72.

Plotnikova, G. V., Lubenets, P. S., Garmyshev, V. V. *Problemy osmotra i rassledovaniya lesnykh pozharov v Irkutskoy oblasti* [Problems of inspection and investigation of forest fires in the Irkutsk region]. *Pravo. Bezopasnost. Chrezvychainye situatsii*, 2021, no. 4(53), pp. 65-72. (In Russian)

11. Ресурсное обоснование сил и средств для тушения низового лесного пожара / С. В. Гундар, М. М. Данилов, А. Н. Денисов, И. Д. Опарин // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – № 2(43). – С. 1–7.

Gundar, S. V., Danilov, M. M., Denisov, A. N., Oparin, I. D. *Resursnoe obosnovanie sil i sredstv dlya tusheniya nizovogo pozhara* [Resource justification of forces and means for extinguishing ground forest fire]. *Technologii technosfernoy bzopasnosti*, 2012, no. 2(43), pp. 1-7. (In Russian)

12. Коляда, А. Ю. Методика расчета параметров локализации пожаров в горных выработках / А. Ю. Коляда, Ю. Н. Ющенко, И. Ф. Дикенштейн // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2015. – № 52. – С. 99–111.

Kolyada, A. Yu., Yushchenko, Yu. N., Dikenshtein, I. F. *Metodika raschyota parametrov lokalizatsii pozharov v gornykh vyrabotkakh* [Methodology for

calculating fire localization parameters in mine workings]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator"*, 2015, no. 52, pp. 99-111. (In Russian)

13. Коляда, А. Ю. Параметры тушения пожаров тонкораспыленной водой / А. Ю. Коляда, И. Ф. Дикенштейн, Д. А. Тимошенко // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2022. – № 1(59). – С. 34–43.

Kolyada, A. Yu., Dickenstein, I. F., Timoshenko, D. A. *Parametry tusheniya pozharov tonkoraspylyonnoy vodoy* [Parameters for extinguishing fires with finely sprayed water]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator"*, 2022, no. 1(59), pp. 34-43. (In Russian)

14. Щетинский, Е. А. Спутник руководителя тушения пожара / Е. А. Щетинский. – Москва : ЗАО «Спецтехника», 2001. – 75 с.

Shchetinsky, E. A. *Sputnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Fire extinguishing manager's companion]. Moscow, ZAO "Spetstekhnika" Publ., 2001. – 75 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.В. Мамаевым  
Дата поступления рукописи 23.04.2024  
Дата опубликования 19.06.2024

**Denis Aleksandrovich Timoshenko**, acting chief; e-mail: [den.timosshenko@gmail.com](mailto:den.timosshenko@gmail.com)

State budgetary institution "Fire and rescue squad of Volnovakha

Ministry of Emergency Situations of the DPR"

285703, Volnovakha district, Volnovakha, Energeticheskyy lane, 6. Tel.: +7 (949) 311-73-74

**Daria Fedorovna Balta**, scientific. coll.; e-mail: [darya@mail.ru](mailto:darya@mail.ru);

**Dmitry Sergeevich Buryak**, scientific. coll.; e-mail: [buryak\\_ds@mail.ru](mailto:buryak_ds@mail.ru);

**Igor Feliksovich Dikenshtein**, scientific. coll.; e-mail: [opbush@mail.ru](mailto:opbush@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 OF THE PROCESSES OF EXTINGUISHING GROUND FOREST FIRES WITH FINE SPRAYED WATER

**Objective.** Conduct research on the processes of extinguishing ground forest fires and determine the tactical and technical parameters of fire extinguishing with finely sprayed water.

**Methods.** A comprehensive research method was used, including analysis of literary sources and theoretical research.

**Results.** Dependencies have been established that make it possible to determine the extinguishing time of the diffusion flame of forest combustible material, as well as the linear and critical intensity of water supply when eliminating smoldering sources at the edge of a ground forest fire.

**Scientific novelty.** For the first time, the mechanism of phlegmatization of a combustion source by water vapor, which was not previously taken into account in methods for determining the parameters of extinguishing ground forest fires, was considered.

**Practical value.** The research results can be used to develop proposals for the tactical and technical parameters of extinguishing ground forest fires.

**Keywords:** *ground forest fires; fire extinguishing process; finely sprayed water; theoretical research; phlegmatization.*

**For citation.** Timoshenko D. A., Balta D. F., Buryak D. S., Dikenshtein I. F. Study of the processes of extinguishing ground forest fires with finely sprayed water. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 2(61), pp. 32–43. (In Russian). EDN LZWPZO.

УДК [614.843.2:648.336.2]:001.891.573

*Андрей Васильевич Осадчий, ст. науч. сотр; e-mail: [osad4iy58@mail.ru](mailto:osad4iy58@mail.ru);*

*Галина Николаевна Земляк, вед. инж.; e-mail: [opbush@mail.ru](mailto:opbush@mail.ru);*

*Сергей Викторович Разиньков, инж. I кат.; e-mail: [sergey\\_razinkov-84@mail.ru](mailto:sergey_razinkov-84@mail.ru);*

*Олег Сергеевич Шиш, инж.; e-mail: [unicoleg@ya.ru](mailto:unicoleg@ya.ru)*

*Федеральное государственное казенное учреждение*

*«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»*

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

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШКИ ПОЖАРНЫХ НАПОРНЫХ РУКАВОВ

**Цель.** Обоснование параметров автономного малогабаритного шкафа для сушки пожарных напорных рукавов различных типоразмеров для эксплуатации в летний и зимний периоды.

**Методы.** Использован комплексный метод исследования, включающий анализ научно-технической литературы, проведены теоретические исследования и выполнены соответствующие расчеты. Обработка результатов исследований осуществлялась с использованием пакетов прикладных компьютерных программ Microsoft Office.

**Результаты.** На основании проведенных расчетов теплового баланса, производительности, мощности нагревательных элементов и расхода тепла на сушку пожарных напорных рукавов обоснованы параметры сушильного шкафа БРИЗ.

**Научная новизна.** Впервые результаты теоретических исследований позволили установить мощность нагревательных элементов сушильного шкафа БРИЗ и определить расход тепла для сушки пожарных напорных рукавов в различных условиях эксплуатации.

**Практическая значимость.** Предложена конструкция сушильного шкафа БРИЗ с возможностью его перевозки на транспорте и автономной работы на месте ведения аварийно-спасательных работ в летний и зимний периоды. Внедрение сушильного шкафа БРИЗ позволит повысить готовность пожарно-спасательных и горноспасательных подразделений к выполнению задач, связанных с обслуживанием пожарных напорных рукавов.

**Ключевые слова:** *пожарный напорный рукав; теплообменные процессы; шкаф для сушки; обоснование параметров; теоретические исследования и расчеты.*

**Для цитирования:** *Осадчий А. В., Земляк Г. Н., Разиньков С. В., Шиш О. С. Обоснование параметров установки для сушки пожарных напорных рукавов // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 44–53. EDN TKOOIW.*

**Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями.** Выполнение профессиональных задач пожарно-спасательными и горноспасательными подразделениями, в частности ликвидация пожаров на различных объектах, происходит в сложных и опасных условиях.

Значительный вклад в решение проблемы пожаротушения внесли ученые путем создания новой и повышения эффективности применяемой пожарной техники, а также обеспечения ее работоспособности в экстремальных условиях. Аналитический обзор научных работ [1, 2] позволил установить, что одним

из наименее исследованных в настоящее время остается вопрос технического обслуживания пожарных напорных рукавов (далее – ПНР), которые используют значительно чаще, чем другие виды пожарного оборудования.

ПНР имеют большое значение при организации тушения пожара: чем выше вероятность рабочего состояния ПНР, тем больше уверенности у спасателей в успехе пожаротушения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Значительную часть затрат времени, труда и материальных средств при эксплуатации ПНР составляет их сушка после тушения пожара. Применяемое спасательными подразделениями оборудование для сушки стационарное и в основе его работы лежит технология продувки ПНР потоком теплого воздуха. Для этого необходимо большое помещение и специальное оснащение для развешивания ПНР.

На практике встречается большое количество типов сушилок, которые различаются по конструкции и по способу подвода тепла к высушиваемому материалу, например:

- башенная, представляющая собой вертикальный канал с квадратным или прямоугольным сечением, площадью 8...10 м<sup>2</sup> и высотой более 20 м (емкость ПНР в такой башенной сушилке – до 45 ед., продолжительность сушки в среднем составляет до трех суток);

- барабанная – цилиндрическая камера, внутри которой вращается барабан. Барабан приводится в действие от электромотора через редуктор и цепную передачу. Сушка выполняется при циркуляции воздуха, осуществляемой вентилятором;

- сушка ПНР в шкафу.

Среди барабанных сушилок следует отметить установки: STG, УСР, АИСТ; из сушильных шкафов выделяются: STS-820, Top Trock, ПТС-74.00.501, которые на сегодняшний день используют в Российской Федерации [2, 3].

Недостаток башенных сушилок обусловлен высокой стоимостью, низким коэффициентом полезного действия, неравномерностью сушки ПНР, трудностями регулирования параметров теплоносителя.

В зимний период для высушивания ПНР в башенной сушилке необходимо в среднем три дня, а в летний период – один день. Для высушивания двух ПНР в барабанной сушилке требуется от 1 до 3 ч, и 8...24 кВт электроэнергии для работы нагревательных элементов. Изготовители оборудования для сушки ПНР с целью обеспечения ускоренного высушивания рукавов в установленный (нормативный) срок часто завышают температуру воздуха в сушильной камере (до 60 °С и выше), что противоречит ГОСТ Р 51049–2008 «Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний».

Нарушения режимов сушки (временного и температурного) приводят к преждевременному изнашиванию (и даже старению) ПНР, вследствие чего значительно сокращается их срок службы согласно данным из работы [3].

Следовательно, слабое звено в существующей системе обслуживания ПНР – их сушка, как весьма трудоемкий и продолжительный процесс. При этом малоисследованным остается вопрос сушки ПНР сразу после их эксплуатации на месте ведения аварийно-спасательных работ в летний и зимний периоды.

Особо сложная ситуация возникает при каждодневных и весьма удаленных пожарах, когда отсутствует возможность доставки ПНР в пожарно-спасательные и горноспасательные подразделения для сушки на стационарно установленном оборудовании. В таких случаях для поддержания ПНР в рабочем состоянии необходима их сушка на месте ведения спасательных работ, что возможно осуществить при наличии автономных мобильных установок, перевозимых на автотранспорте [4].

Таким образом, актуальная научная задача и **цель статьи** – обоснование параметров автономного малогабаритного шкафа для сушки пожарных напорных рукавов различных типоразмеров для эксплуатации в летний и зимний периоды.

**Результаты исследований.** Основные параметры сушильного шкафа БРИЗ обоснованы согласно методике, изложенной в работе [5].

Принимаем следующие исходные данные: сушке подвергаются ПНР длиной 20 м, их внутренний диаметр 77 мм, латексированные, с каркасом из синтетических (высокопрочных полиэфирных) нитей. Согласно экспериментальным данным М. В. Елфимовой [6], масса мокрого ПНР составляет 12,12 кг, сухого – 10,13 кг, пересушенного – 9,715 кг.

Начальную  $\omega_1$ , %, и конечную  $\omega_2$ , %, влажность материала ПНР определяют согласно формулам

$$\omega_1 = \frac{m_m - m_{\text{пер}}}{m_m} 100 \%,$$

где  $m_m$  – масса мокрого ПНР, кг;

$m_{\text{пер}}$  – масса пересушенного ПНР, кг;

$$\omega_2 = \frac{m_c - m_{\text{пер}}}{m_c} 100 \%,$$

где  $m_c$  – масса сухого ПНР, кг.

Исходя из проведенных расчетов,  $\omega_1 = 19,85 \%$ ,  $\omega_2 = 4,1 \%$ .

Согласно работе [6] оптимальные параметры сушки ПНР следующие:

- время сушки  $\tau_c = 2$  ч (7200 с);
- температура воздуха  $\theta = 50$  °С;
- удельная теплоемкость материала ПНР  $C_m = 1130$  Дж/(кг·К).

Исходя из конструктивных возможностей, принимаем, что в сушильном шкафу БРИЗ одновременно высушивают четыре ПНР. Принимаем, что на выходе из шкафа воздух имеет относительную влажность  $\varphi = 80 \%$ , а потери тепла от поверхности шкафа в окружающую среду составляют 10 % от общего расхода тепла на нагревание ПНР.

Общее количество удаляемой влаги  $W_{об}$ , кг, определяют по формуле

$$W_{об} = N(m_m - m_c)$$

где  $N$  – количество ПНР, одновременно подвергаемых сушке, ед.

Исходя из проведенных расчетов,  $W_{об} = 7,96$  кг.

Количество удаляемой влаги в единицу времени  $W'$ , кг/ч, определяют по формуле

$$W' = \frac{W_{об}}{\tau_c}$$

Массовый расход материала для сушки ПНР  $G_1$ , кг/ч, определяют по формуле

$$G_1 = \frac{Nm_m}{\tau_c}$$

Он составляет 24,24 кг/ч.

Принимаем следующие исходные данные: ПНР загружают в шкаф при начальной влажности  $\omega_1 = 19,84 \%$  и начальной температуре  $\theta_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ , высушивают до конечной влажности  $\omega_2 = 4,27 \%$  и извлекают из шкафа при конечной температуре  $\theta_2 = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Производительность шкафа, исходя из высушенных ПНР (массовый расход материала высушенных ПНР)  $G_2$ , кг/ч, определяют по формуле

$$G_2 = G_1 - W'$$

Расход составляет 21,06 кг/ч.

Удельный расход тепла на нагревание ПНР  $q_m$ , Дж/кг, рассчитывают по формуле

$$q_m = \frac{G_2 C_m (\theta_2 - \theta_1)}{W'}$$

Он составляет 143 663 Дж/кг.

Потери тепла в окружающую среду  $q_{\text{п}}$ , Дж/кг, определяют по формуле

$$q_{\text{п}} = 0,1q_{\text{м}},$$

они составляют 14 366 Дж/кг.

Количество тепла, подводимого в сушильный шкаф БРИЗ, рассчитывают в общем случае с учетом потерь тепла с уходящим воздухом, на испарение влаги из высушиваемого материала, на нагревание высушиваемого материала и в окружающую среду.

В таком случае невязку теплового баланса сушильного шкафа БРИЗ  $\Delta Q$ , Дж/кг, определяют по формуле

$$\Delta Q = C_{\text{в}}\theta_1 - (q_{\text{м}} + q_{\text{п}}),$$

где  $C_{\text{в}}$  – теплоемкость воды, равная 4190 Дж/(кг·К).

Исходя из проведенных расчетов,  $\Delta Q = 153\,839$  Дж/кг.

Дальнейший расчет проводим отдельно для летних и зимних условий. Летние условия при средних параметрах атмосферного воздуха: температура  $t_0 = 22,2$  °С, относительная влажность  $\varphi_0 = 70$  %.

На  $I-d$  диаграмме процесса сушки ПНР (рис. 1) находим точку  $A$ , характеризующую состояние наружного воздуха: влажность воздуха на входе в шкаф  $d_0 = 11,2$  г/кг, энтальпия  $I_0 = 50$  кДж/кг.

Проводим из точки  $A$  вертикаль  $d_0 = \text{const}$  до пересечения с изотермой  $t_1 = 50$  °С в точку  $B$ , характеризующей состояние воздуха на входе в сушильную камеру, и получаем  $d_1 = d_0 = 11,2$  г/кг, энтальпия  $I_1 = 78$  кДж/кг.

Из точки  $B$  проводим линию процесса сушки  $I_1 = \text{const}$ . На этой линии определяем произвольную точку  $e$  и проводим из нее горизонталь до пересечения в точке  $f$  с линией  $d_1 = d_0 = \text{const}$ . Длина отрезка  $ef$  составит 18 мм.

Отношение масштабов диаграммы  $m$ , кДж/кг, определяют по формуле

$$m = \frac{m_j}{m_d},$$

где  $m_j$  – масштаб диаграммы по оси энтальпий, 0,075 кДж/(кг·мм);

$m_d$  – масштаб диаграммы по оси, характеризующей массовую долю влаги 0,0025 мм<sup>-1</sup>.

Исходя из проведенных расчетов,  $m = 300$  кДж/кг.

Длину отрезка  $eC$ , мм, определяют по формуле

$$eC = ef \frac{\Delta Q}{m},$$

где  $ef$  – длина отрезка на  $I-d$  диаграмме процесса сушки ПНР (рис. 1).

Исходя из проведенных расчетов,  $eC = 7,1$  мм.

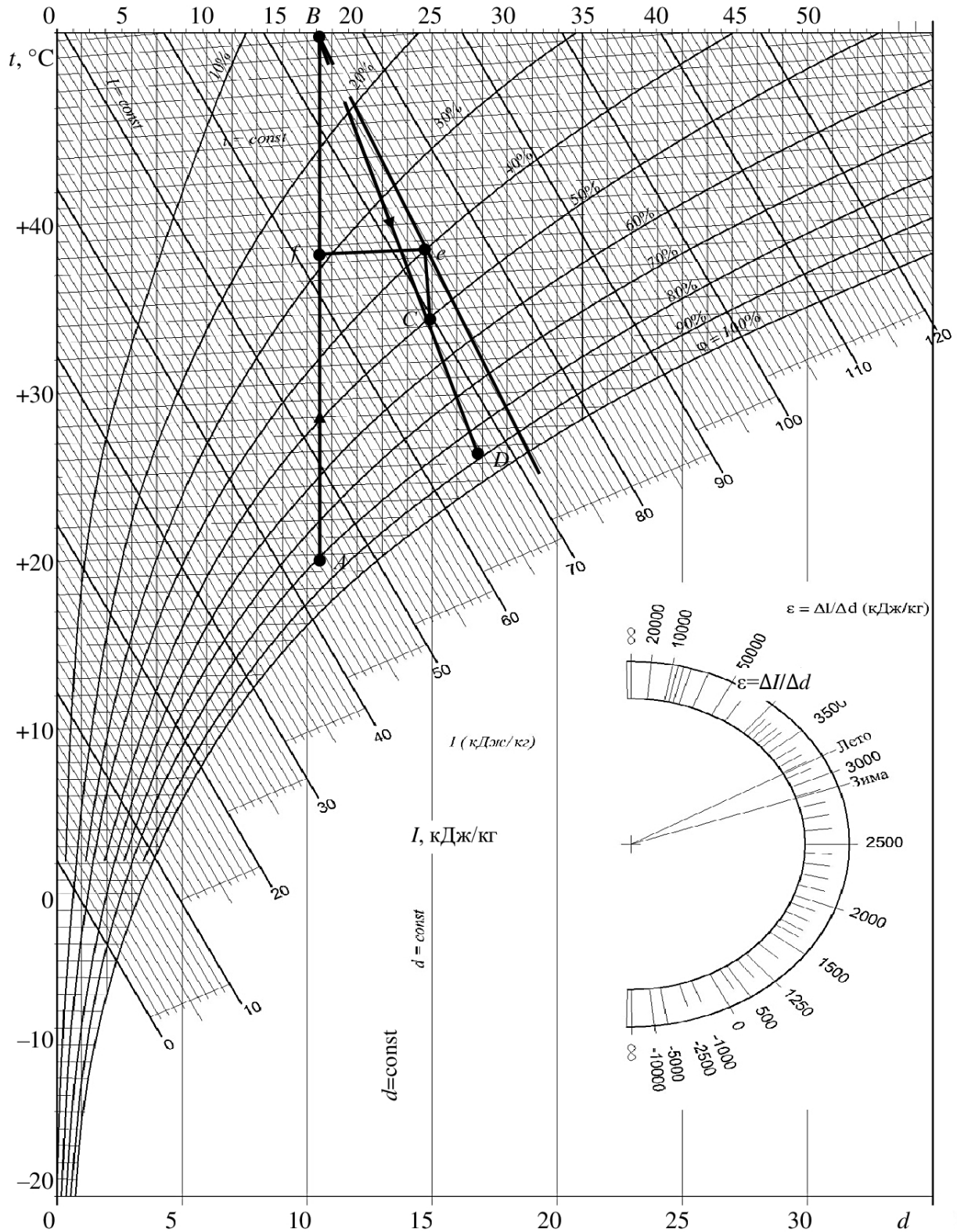


Рис. *I-d* диаграмма определения параметров сушки ПНР

Откладываем отрезок  $eC$  из точки  $e$  вниз (поскольку  $\Delta Q < 0$ ) и через точки  $B$  и  $C$  проводим прямую до пересечения с линией  $\phi = 80\%$  в точке  $D$ , которая характеризует влагосодержание воздуха на выходе из сушильного шкафа БРИЗ: влажность воздуха после сушки ПНР  $d_2 = 18$  г/кг, энтальпия  $I_2 = 74$  кДж/кг.

Удельный расход воздуха в летний период  $q_{\text{лет}}^{\text{уд}}$  определяют по формуле

$$q_{\text{лет}}^{\text{уд}} = \frac{1}{d_2 - d_0}, \quad (1)$$

он составляет 113,6.

Массовый расход воздуха на сушку ПНР в летний период  $q_{\text{лет}}^{\text{мас}}$ , кг/ч, рассчитан по формуле

$$q_{\text{лет}}^{\text{мас}} = q_{\text{лет}}^{\text{уд}} W', \quad (2)$$

он составляет 452,6 кг/ч.

Объемный расход воздуха в летний период  $q_{\text{лет}}^{\text{об}}$ , м<sup>3</sup>/ч, определяют по формуле

$$q_{\text{лет}}^{\text{об}} = \frac{q_{\text{лет}}^{\text{мас}}}{\rho_{\text{в}}}, \quad (3)$$

где  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха, равная 1,29 кг/м<sup>3</sup>.

Исходя из проведенных расчетов,  $q_{\text{лет}}^{\text{об}} = 350$  м<sup>3</sup>/ч.

Общий расход тепла в сушильном шкафу БРИЗ в летний период  $Q_{\text{лет}}^{\text{теп}}$ , кДж/ч, определяют по формуле

$$Q_{\text{лет}}^{\text{теп}} = \frac{Nm_{\text{пнр}}}{d_2}, \quad (4)$$

где  $m_{\text{пнр}}$  – масса ПНР, кг.

Исходя из проведенных расчетов,  $Q_{\text{лет}}^{\text{теп}} = 2700$  кДж/ч.

Пренебрегая теплом, вносимым с воздухом, расход тепла на сушку ПНР в летний период  $Q_{\text{лет}}$ , кДж/ч, определяют по формуле

$$Q_{\text{лет}} = Q_{\text{лет}}^{\text{теп}} W', \quad (5)$$

он составляет 10 746 кДж/ч, или 3 кВт.

Таким образом, мощность нагревательных элементов должна быть не менее 3 кВт при сушке четырех ПНР в летний период.

Аналогичный расчет выполняем для зимних условий при средних параметрах атмосферного воздуха: температура  $t_0 = -6,0$  °С, относительная влажность  $\varphi_0 = 88$  %.

На  $I-d$  диаграмме процесса сушки ПНР (см. рис. 1) состояние воздуха характеризует точка  $A$ . Таким образом, влажность воздуха на входе в шкаф  $d_0 = 2,4$  г/кг, энтальпия  $I_0 = -2$  кДж/кг.

Проводим аналогичное предыдущему построение (на рис. 1 не показано) и получаем: влажность материала после сушки  $d_2 = 11$  г/кг, энтальпия  $I_2 = 49$  кДж/кг.

По формулам (1)–(5) рассчитываем параметры для зимних условий и получаем следующие данные:

- удельный расход воздуха  $q_{\text{зим}}^{\text{уд}} = 116$ ;
- массовый расход воздуха на сушку ПНР  $q_{\text{зим}}^{\text{мас}} = 452,8$  кг/ч;
- объемный расход воздуха  $q_{\text{зим}}^{\text{об}} = 360$  м<sup>3</sup>/ч;
- общий расход тепла в сушильном шкафу БРИЗ  $Q_{\text{зим}}^{\text{теп}} = 4407$  кДж/ч;
- расход тепла  $Q_{\text{зим}} = 17\,540$  кДж/ч, или 5 кВт.

Таким образом, мощность нагревательных элементов должна быть не менее 5 кВт при сушке четырех ПНР в зимний период.

Исходя из результатов теоретических исследований и выполненных расчетов для сушки ПНР различных типоразмеров предлагается конструкция сушильного шкафа БРИЗ (рис. 2).

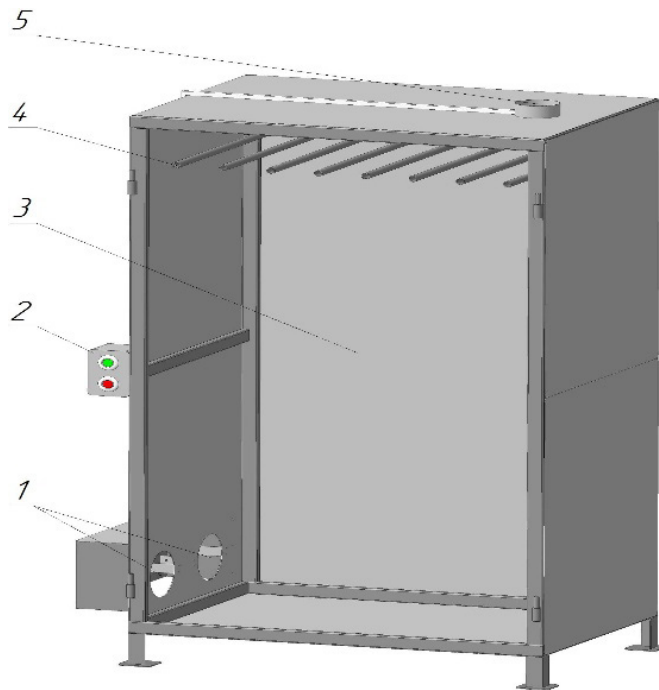


Рис. 2. Шкаф сушильный БРИЗ:

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

**Выводы.** На основании исследования оборудования для сушки ПНР установлено, что предложенные ранее установки монтируются стационарно в помещениях и действуют по принципу продувки рукавов теплым воздухом, что требует большой площади помещения или специальной оснастки для размещения рукавов, но мало исследован вопрос сушки ПНР сразу после их эксплуатации на месте ведения аварийно-спасательных работ в летний и зимний периоды.

Результаты теоретических исследований позволили установить мощность нагревательных элементов сушильного шкафа БРИЗ и определить расход воздуха (тепла) для сушки ПНР в летних или зимних условиях эксплуатации шкафа.

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

Внедрение сушильного шкафа БРИЗ позволит повысить готовность пожарно-спасательных и горноспасательных подразделений к выполнению задач, связанных с обслуживанием ПНР.

### Список литературы / References

1. Елфимова, М. В. Актуальные проблемы обслуживания пожарных рукавов / М. В. Елфимова, Г. Ф. Архипов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2011. – № 3(19). – С. 35–40.

Yelfimova, M. V., Arkhipov, G. F. *Aktualnye problemy obsluzhivaniya pozharnykh rukavov* [Pressing issues of fire hoses maintenance]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2011, no. 3(19), pp. 35-40. (In Russian)

2. Яковенко, Ю. Ф. Пожарно-техническое вооружение на пожарных автомобилях: использование и принципы размещения / Ю. Ф. Яковенко // ПАСС. – 2007. – № 3. – С. 14–18.

Yakovenko, Yu. F. *Pozharno-tekhnicheskoe vooruzhenie na pozharnykh avtomobilyakh: ispolzovanie i printsipy razmeshcheniya* [Fire engineering equipment on fire appliances: deployment and placement]. *PASS*, 2007, no. 3, pp. 14-18. (In Russian)

3. Безбородько, М. Д. Пожарная техника. – Москва : АГПС МЧС России, 2004. – 550 с.

Bezborodko, M. D. *Pozharnaya tekhnika* [Fire equipment]. Moscow, AGPS MChS Rossii Press, 2004, 550 p. (In Russian)

4. Елфимова, М. В. О проблеме обеспечения эффективности эксплуатации напорных рукавов пожарных автомобилей в современных условиях / М. В. Елфимова, А. А. Носенков // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. – 2013. – № 1. – С. 68–72.

Yelfimova, M. V., Nosenkov, A. A. *O probleme obespecheniya effektivnosti ekspluatatsii napornykh rukavov pozharnykh avtomobiley v sovremennykh usloviyakh* [On problem of ensuring operational effectiveness of fire appliance delivery hoses in current conditions]. *Nadzornaya deyatel'nost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti*, 2013, no. 1, pp. 68-72. (In Russian)

5. Баранов, Д. А. Процессы и аппараты / Д. А. Баранов, А. М. Кутенков. – Москва : Академия, 2004. – 404 с.

Baranov, D. A., Kutenkov, A. M. *Protsessy i apparaty* [Processes and apparatuses]. Moscow, Akademiya Publ., 2004, 404 p. (In Russian)

6. Елфимова, М. В. Разработка мобильного комплекса по оперативному восстановлению готовности пожарных подразделений за счет тепловакуумной сушки рукавов : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)» (технические науки) : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Елфимова Марина Владимировна. – Санкт-Петербург, 2013. – 219 с. – Место защиты: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

Yelfimova, M. V. *Razrabotka mobilnogo kompleksa po operativnomu vosstanovleniyu gotovnosti pozharnykh podrazdeleniy za schyot teplovakuumnoy sushki rukavov* [Development of portable complex for operational readiness recovery of fire divisions due to heat and vacuum drying of fire hoses : 05.26.03 “Fire and Industrial Safety (technical sciences)” specialty : Candidate of technical sciences dissertation / Yelfimova Marina Vladimirovna]. Saint Petersburg, 2013, 219 p. Place of thesis defense: Saint Petersburg University of Fire Service of EMERCOM of Russia. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым  
Дата поступления рукописи 28.03.2024  
Дата опубликования 19.06.2024

*Andrey Vasilievich Osadchiy, senior scientific etr; e-mail: [osad4iy58@mail.ru](mailto:osad4iy58@mail.ru);*

*Galina Nikolaevna Zemlyak, leading engineer; e-mail: [opbush@mail.ru](mailto:opbush@mail.ru);*

*Sergey Viktorovich Razinkov, engineer. I cat.; e-mail: [sergey\\_razinkov-84@mail.ru](mailto:sergey_razinkov-84@mail.ru);*

*Oleg Sergeevich Shish, engineer; e-mail: [unicoleg@ya.ru](mailto:unicoleg@ya.ru)*

*Federal State Institution “The Scientific Research Institute “Respirator” of EMERCOM of Russia”  
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-39*

## PARAMETERS SUBSTANTIATION FOR FIRE DELIVERY HOSE DRYING BOX

**Objective.** Parameters substantiation for a portable compact drying box for fire delivery hoses of different sizes for operations during summer and winter time.

**Methods.** The integrated method of investigation has been applied which consists of scientific and technical literature analysis, theoretical studies and corresponding calculations have been conducted. The processing of the investigations results has been conducted using the Microsoft Office software.

**Results.** The parameters substantiation for the BRIZ drying box have been fulfilled and based on the conducted calculations of the heat balance, performance, heating elements power and heat consumption for drying the fire delivery hoses.

**Scientific novelty.** Novel the theoretical studies results made it possible to establish the BRIZ drying box heating elements power and to determine the heat consumption for drying the fire delivery hoses in summer and winter conditions of operation.

**Practical novelty.** The design of BRIZ drying box adapted to transportation and autonomous work at the site of the emergency-rescue operations in summer and winter time. Bringing the BRIZ drying box to the operational service will facilitate the improvement of the fire and rescue units’ readiness to execute the fire delivery hoses maintenance.

**Keywords:** *fire delivery hose; heat transfer processes; drying box; parameters substantiation; theoretical studies and calculations.*

**For citation.** Osadchiy A. V., Zemlyak G. N., Razinkov S. V., Shish O. S. Parameters substantiation for fire delivery hose drying box. *Nauchnyy vestnik NII “Respirator”*, 2024, no. 2(61), pp. 44-53. EDN TKOOIW.

## II. Безопасность труда

УДК 622.867.322

*Валерий Владимирович Мамаев, д-р техн. наук, заместитель начальника (по научной работе);*

*e-mail: [respirator@mail.dnmchs.ru](mailto:respirator@mail.dnmchs.ru);*

*Руслан Сергеевич Плетенецкий, ст. науч. сотр.; e-mail: [zoloto-russland@yandex.ru](mailto:zoloto-russland@yandex.ru);*

*Любовь Алексеевна Зборщик, ст. науч. сотр.; e-mail: [lzborschik@yandex.ru](mailto:lzborschik@yandex.ru);*

*Виктор Иванович Францев, вед. инж.; e-mail: [oszd\\_niigd\\_3@mail.ru](mailto: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*

### ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ГАЗОВЫХ СРЕД В ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

**Цель.** Установить влияние состава газовой дыхательной смеси и возможное количественное соотношение компонентов в искусственных газовых средах для повышения безопасности и улучшения технических характеристик изолирующих дыхательных аппаратов.

**Методы.** Аналитические методы исследований воздействия компонентов газовой среды на организм человека.

**Результаты.** Результаты исследований позволили установить, как воздействует каждый из компонентов газовой дыхательной смеси на функционирование организма человека для разработки респираторов с оптимальным содержанием кислорода.

**Научная новизна.** Установлено влияние состава газовой дыхательной смеси на организм человека и возможное количественное соотношение компонентов в искусственных газовых средах.

**Практическая значимость.** Результаты исследований могут быть использованы для разработки респиратора с оптимальным содержанием кислорода.

**Ключевые слова:** *дыхательный аппарат; респиратор; газовая дыхательная смесь; кислород; азот; заазотирование.*

**Для цитирования:** *Мамаев В. В., Плетенецкий Р. С., Зборщик Л. А., Францев В. И. Применение искусственных газовых сред в изолирующих дыхательных аппаратах // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 54–64. EDN UWZVAN.*

**Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями.** От параметров, надежности и устойчивости работы средств индивидуальной защиты органов дыхания (респираторов) (далее – СИЗОД) зависят здоровье и жизнь человека. Поэтому разработку и изготовление респираторов ведут на базе современных достижений науки и техники с учетом требований нормативных документов. В настоящее время действует стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 12.4.253–2011 «ССБТ. СИЗОД. Автономные изолирующие дыхательные аппараты со сжатым и с химически связанным кислородом для горноспасателей. Общие технические условия». В нем приведены пять терминов с соответствующими

определениями для СИЗОД, из которых два касаются применения сжатой кислородно-азотной смеси в респираторе, а именно:

- автономный изолирующий дыхательный аппарат со сжатой кислородно-азотной смесью и поглотительным патроном;
- автономный изолирующий дыхательный аппарат со сжатой кислородно-азотной смесью или сжатым воздухом и патроном с кислородсодержащим продуктом.

При нормальном функционировании изолирующих средств защиты органов дыхания содержание кислорода в воздухопроводной системе значительно выше, чем в атмосферном воздухе. В зависимости от типа таких средств и режима работы в них оно находится в диапазоне 60...90 %. Соответственно, увеличивается парциальное давление кислорода в альвеолярном воздухе [1].

Однако при вдыхании воздуха с объемной долей кислорода выше 60 % более трех часов начинают появляться признаки, свидетельствующие о накоплении диоксида углерода в организме, замедлении окислительно-восстановительных процессов в тканях. Это обусловлено перенасыщением крови кислородом, что приводит к нарушению транспорта диоксида углерода.

Поскольку систематическая работа в изолирующих дыхательных аппаратах является профессиональной особенностью труда членов аварийно-спасательных формирований (пожарных и горноспасателей), вопрос исследования возможности применения газовых дыхательных смесей различного состава весьма актуален.

#### **Анализ последних исследований и публикаций.**

Вопрос изучения и создания искусственной газовой среды для жизнеобеспечения человека исследовался при разработке средств индивидуальной и коллективной защиты органов дыхания. В нормативных документах относительно содержания кислорода ранее регламентировали только нижний порог. Согласно ОСТ 12.43.247–83 «Респираторы изолирующие регенеративные для горноспасательных работ» парциальное давление кислорода во вдыхаемой газовой смеси не должно быть менее 20 кПа при атмосферном давлении 70...125 кПа. Соответственно, его объемная доля не должна быть менее 21 % при атмосферном давлении ( $100 \pm 2$ ) кПа.

В Требованиях НПБ 164–2001 «Техника пожарная. Кислородные изолирующие противогазы (респираторы) для пожарных. Общие технические требования. Методы испытаний» (п. 3.5.3) указано, что объемная доля кислорода во вдыхаемой газовой смеси должна быть не менее 21 %, а объемная доля диоксида углерода не более 3 %.

В настоящее время в стандартах регламентируется не только нижний, но и верхний допустимый уровень содержания кислорода, в ГОСТ Р 12.4.253–2011 (п. 5.1.1.3) указано, что объемная доля кислорода во вдыхаемой газовой дыхательной смеси должна быть не менее 20 %, а в аппаратах с номинальным

временем защитного действия более 4 ч объемная доля кислорода не должна превышать 60 %.

Выполнены исследования, в которых для повышения пожаробезопасности применяют гипоксические нормобарические среды [2, 3], изучают влияние нормобарической гипоксии на работоспособность [4], совместное влияние на организм барометрического давления и концентрации кислорода [5]. Одна из последних тенденций – исследование влияния аргона на организм человека в гипоксических дыхательных смесях [6–8].

Проведены также исследования, результаты которых показывают положительную роль гипероксии при больших физических нагрузках [9–12].

**Цель исследования** – установить влияние состава газовой дыхательной смеси и возможное количественное соотношение компонентов в искусственных газовых средах для повышения безопасности и улучшения технических характеристик изолирующих дыхательных аппаратов.

#### **Результаты исследований.**

Принятые в стандартах нормируемые значения концентрации компонентов искусственной газовой среды применяют только при стандартных условиях (атмосферное давление 101,3 кПа). При эксплуатации дыхательного аппарата (систем жизнеобеспечения) в условиях повышенного (пониженного) атмосферного давления важно не просто процентное содержание кислорода, а его парциальное давление. Это обусловлено тем, что физиологическое действие того или иного газа определяется не относительным процентным содержанием этого газа в смеси, а величиной его парциального давления.

Пороговая величина парциального давления кислорода, вызывающая отравление организма, равна 0,274 МПа [13]. При погружении в кислородных аппаратах, где дыхательная смесь содержит 85 % кислорода, такое давление кислорода наступает уже на глубине около 20 м. Поэтому во избежание кислородного отравления организма человека погружение в кислородных аппаратах на глубину более 20 м не допускается.

В дыхательных аппаратах, работающих на сжатом воздухе (аквалангах), такое явление исключено, потому что пороговая величина парциального давления кислорода, входящего в состав воздуха, наступает на значительно больших глубинах (130...140 м). Погружения на большие глубины производится с гелиокислородной или воздушно-кислородной смесью, в которой процентное содержание кислорода уменьшается до 5...10 %, а его парциальное давление не превышает 0,274 МПа.

Азот при нормальном давлении – биологически инертный газ, но на глубинах свыше 60 м вследствие возрастания парциального давления он оказывает наркотическое действие на организм человека. Пороговая величина парциального давления азота, вызывающая наркоз, равна 0,588...0,686 МПа. Поэтому при погружениях свыше 50...60 м процентное содержание азота

в газовой смеси для дыхания уменьшают с 78 до 10...20 %, заменяя его гелием [13].

С погружением на глубину возрастает парциальное давление также других вредных примесей во вдыхаемом воздухе (диоксид углерода и др.), вследствие чего повышается их токсическое действие.

Подобно глубоководным дыхательным аппаратам, вопрос безопасного влияния компонентов газовой дыхательной смеси на организм человека и обеспечения его работоспособности требует исследования и в дыхательных аппаратах, применяемых в авиации и космической технике.

Применяемые в высотной авиации дыхательные аппараты с периодической подачей кислорода регулируют его содержание (по объему) в зависимости от высоты (барометрического давления). Так, на высоте 4000 м объемная доля кислорода в подаваемой газовой дыхательной смеси составляет 35...55 %, на высоте 7500 м – 55...92 %, на высоте 8500 м – 90 % и более [14].

В герметических кабинах отечественных космических летательных аппаратов с замкнутой регенерационной системой вентиляции поддерживается кислородно-азотная атмосфера с давлением воздуха порядка 101,32 кПа и парциальным давлением кислорода около 21,33 кПа. Астронавты США дышат чистым кислородом с давлением 41,06...35,59 кПа, что соответствует высоте 7000...8000 м.

Установлено, что парциальное давление диоксида углерода в кабинах летательных аппаратов необходимо поддерживать на уровне не более 0,26...0,79 кПа, предельно допустимой его величиной обычно считают 1,59...1,99 кПа.

В результате исследований высотных полетов на высоте 15 500...22 000 м на стратостатах исследователи пришли к выводам: признали целесообразным в кабинах стратостатов для облегчения их конструкции поддерживать давление на уровне более низком, чем атмосферное, порядка 73,32...59,99 кПа, при этом соответственно увеличивать содержание кислорода в искусственной газовой атмосфере с таким расчетом, чтобы кислородное обеспечение человека полностью сохранялось.

При создании искусственной газовой среды советские и американские исследователи руководствовались в значительной степени одинаковыми принципами, однако практически вопрос о формировании искусственной газовой атмосферы в космических кораблях был решен по-разному. Советские исследователи избрали искусственную газовую среду, близкую по основным параметрам (давлению и газовому составу) к нормальной земной атмосфере, обеспечив тем самым космонавтов при нормальных режимах полета достаточно комфортными условиями обитания. Американские исследователи из-за ряда технических выгод использовали приемлемую для астронавтов моногазовую искусственную газовую атмосферу, состоящую из кислорода, под общим

давлением 34,39 кПа. При этом они учитывали и удобство использования ее при выходе астронавтов из кабины в скафандрах с низким общим давлением.

Эти искусственные газовые среды, успешно использованные в полетах, в общем отвечают основным принципам формирования искусственной газовой атмосферы. Они обеспечивают экипажу в полете условия нормального газообмена, не вызывают сколько-нибудь значительного напряжения приспособительных механизмов и поэтому не снижают адаптационного резерва организма.

С точки зрения физиологической оценки по условиям газообмена и по величине давления кислорода и диоксида углерода во внутренней среде (кровь, альвеолярный воздух) искусственные газовые среды могут быть эквивалентными нормальной земной атмосфере и не полностью эквивалентными, содержащими некоторый избыток кислорода и диоксида углерода или дефицит кислорода. По химическому составу искусственная газовая среда может состоять из одного газа (кислород), двух газов (кислорода и какого-либо биологически индифферентного газа) или, наконец, в ее состав, помимо кислорода, могут входить несколько индифферентных газов (азот, гелий, неон, аргон). Физические свойства искусственной газовой среды, помимо того, что они зависят от ее химического состава, зависят еще и от величины барометрического давления, которое также можно широко варьировать.

Из изложенного анализа следует, что число искусственных газовых сред, принципиально возможных для практического использования (жизнеобеспечения человека), достаточно велико.

К искусственным газовым средам, имитирующим нормальную газовую атмосферу Земли, относятся искусственные газовые среды, которые в основном состоят тоже из двух газов: кислорода и азота; содержание других газов в них невелико – порядка 1 %.

Исследователи отмечают, что в ряде случаев в кабинах космических кораблей целесообразно использовать двухкомпонентные искусственные газовые среды, эквивалентные по газообмену нормальной земной атмосфере, но имеющие более низкое барометрическое давление. Максимально допустимое снижение давления искусственной газовой среды лимитируется величиной порядка 25,33 кПа. При этом для сохранения нормального обеспечения организма кислородом в случаях использования столь низких величин давления газовый состав искусственной газовой среды должен практически состоять только из одного кислорода, т.е. газовая среда уже не может быть двухкомпонентной.

При создании искусственной газовой среды исследователям необходимо было ответить на вопрос, имеющий принципиальное значение. Необходимо ли наличие азота в искусственной газовой среде, играет ли его присутствие определенную биологическую роль в нормальной земной атмосфере, к которой человек адаптирован в процессе длительного эволюционного развития?

Большинство отечественных и зарубежных исследователей полагают, что человек может нормально жить в искусственных газовых средах, лишенных азота. Эта точка зрения подтверждается многочисленными экспериментальными данными, которые свидетельствуют о нормальном развитии животных в условиях искусственной газовой среды с полным отсутствием азота. Биологическая роль азота для человека, по-видимому, сводится лишь к тому, что он заполняет полости тела, и в первую очередь легкие, и тем самым поддерживает их определенный объем, препятствуя развитию ателектазов (спадение ткани легкого). Эту функцию азота могут выполнять и другие индифферентные газы, в том числе и гелий, который используется при выполнении глубоководных работ [15, 16].

Рассматривая функционирование индивидуального дыхательного аппарата, следует отметить возможность накопления в дыхательной системе «аппарат – органы дыхания» инертной части газовой смеси, в которую входят азот, аргон и другие инертные газы, содержащиеся в атмосферном воздухе.

Источником накопления азота является газообразный (или жидкий) кислород, в котором объемная доля азота, содержащаяся в виде примеси, достигает 0,5 % (ГОСТ 5583–78 «Кислород газообразный технический и медицинский. Технические условия» регламентирует объемную долю кислорода не менее 99,5 %), а также азот, проникающий в дыхательную систему «аппарат – органы дыхания» в результате подсосов окружающего воздуха через неплотности в воздухопроводной системе и в зоне прилегания лицевой части аппарата. Следует учитывать, что некоторое количество азота постоянно находится в растворенном состоянии в крови и тканях организма человека, а его парциальное давление соответствует парциальному давлению азота во вдыхаемом атмосферном воздухе. Так как парциальное давление азота во вдыхаемой из аппарата газовой дыхательной смеси значительно ниже, чем в атмосфере, в которой дышал человек до включения в аппарат, некоторое его количество (2...4 дм<sup>3</sup>, при стандартных условиях) выделяется из организма в дыхательную систему «аппарат – органы дыхания» после включения пользователя в респиратор.

Дыхательная система «аппарат – органы дыхания» имеет постоянный и сравнительно небольшой объем, поэтому накопление в ней азота приводит к опасному снижению содержания кислорода. В связи с тем что удаление инертных газов из газовой дыхательной смеси путем их поглощения сорбентом невозможно, единственным способом удаления азота является непрерывный или периодический выпуск некоторой части газовой дыхательной смеси в атмосферу и замещение ее кислородом из резервуара аппарата [17]. В зависимости от объема воздухопроводной системы и способа кислородопитания респиратора при его конструировании определяют необходимый объем подаваемой газовой дыхательной смеси для предотвращения заазотирования.

Об опасности вдыхания азота, приводящего к замещению кислорода во вдыхаемом воздухе, сообщается в исследовании [18], в котором отмечается, что потеря сознания после вдыхания чистого азота развивается менее чем за 40...60 с.

#### **Выводы и перспективы дальнейших исследований.**

В дыхательных аппаратах (индивидуальных и коллективных) для жизнеобеспечения пользователей могут применяться газовые дыхательные смеси различного состава, состоящие из одного, двух и более компонентов. Физиологическое действие этих компонентов зависит от их парциального давления. Кислород и азот при превышении порогового значения парциального давления могут оказывать негативное влияние на организм пользователя.

Разрабатывая регенеративный респиратор с экономным расходом кислорода, необходимо учитывать опасность накопления инертных газов в воздухопроводной системе респиратора (заазотирования) и применять меры, исключаящие это явление, например постоянный контроль нижнего порога концентрации кислорода.

#### Список литературы / References

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

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

2. Физиологическое обоснование выбора состава искусственных газовых сред, потенциально применимых для повышения пожаробезопасности обитаемых гермообъектов / Э. Н. Безкишкий, А. О. Иванов, А. Ю. Ерошенко, Ю. Е. Барачевский, Д. В. Шатов, А. А. Танова, С. Н. Линченко, С. М. Грошилин // Экология человека. – 2020. – № 12. – С. 18–27. – DOI: 10.33396/1728-0869-2020-12-18-27. EDN CNHWTB.

Bezkishkiy, E. N., Ivanov, A. O., Yeroshenko, A. Yu., Barachevskiy, Yu. E., Shatov, D. V., Tanova, A. A., Linchenko, S. N., Groshilin, S. M. *Fiziologicheskoe obosnovanie vybora sostava iskusstvennykh gazovykh sred, potentsialno primenimykh dlya povysheniya pozharobezопасности obitaemykh germoobyektov* [Physiologic substantiation for selection of artificial gaseous media components potentially applicable for improvement of fire safety of hermetically sealed habitable facilities]. *Ekologiya cheloveka*, 2020, no. 12, pp. 18-27. DOI 10.33396/1728-0869-2020-12-18-27. EDN CNHWTB. (In Russian)

3. Работоспособность человека при периодическом пребывании в гипоксических воздушных средах, снижающих пожароопасность гермообъектов / Э. Н. Безкишкий, А. О. Иванов, В. А. Петров, А. Ю. Ерошенко,

С. М. Groshilin, Л. Г. Anistratenko, С. Н. Linchenko // Экология человека. – 2018. – № 9. – С. 4–11. – DOI 10.33396/1728-0869-2018-9-4-11. EDN XZDHIL.

Bezkishkiy, E. N., Ivanov, A. O., Petrov, V. A., Yeroshenko, A. Yu., Groshilin, S. M., Anistratenko, L. G., Linchenko, S. N. *Rabotosposobnost cheloveka pri periodicheskom prebyvanii v gipoksicheskikh vozdushnykh sredakh, snizhayushchikh pozharoopasnost germoobyektov* [Human performance under recurrent exposure to hypoxic air environments that lower the fire hazard of hermetically sealed facilities]. *Ekologiya cheloveka*, 2018, no. 9, pp. 4-11. DOI: 10.33396/1728-0869-2018-9-4-11. EDN XZDHIL. (In Russian)

4. Влияние различных степеней нормобарической гипоксии на физическую работоспособность человека / О. В. Ветряков, Ю. Ш. Халимов, В. Н. Быков, А. Я. Фисун // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2018. – № 2(62). – С. 7–9. EDN XRZEOT.

Vetryakov, O. V., Khalimov, Yu. Sh., Bykov, V. N., Fisun, A. Ya. *Vliyanie razlichnykh stepeney normobaricheskoy gipoksii na fizicheskuyu rabotosposobnost cheloveka* [Various degrees of normobaric hypoxia effect on human physical performance]. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*, 2018, no. 2(62), pp. 7-9. EDN XRZEOT. (In Russian)

5. Счастливецова, Д. В. Динамика нейрофизиологических реакций человека в искусственных газовых средах в гермообъеме / Д. В. Счастливецова, Т. И. Котровская, Ю. А. Бубеев // Сборник тезисов XXIV съезда физиологического общества им. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, 11–15 сентября 2023 года. – Санкт-Петербург : ООО «Издательство ВВМ», 2023. – С. 276. EDN FTBLHT.

Schastlivtseva, D. V., Kotrovskaya, T. I., Bubeev, Yu. A. *Dinamika neyrofiziologicheskikh reaktsiy cheloveka v iskusstvennykh gazovykh sredakh v germoobyeme* [Dynamics of human neurophysiological reactions in artificial gas environments in a hermetic volume]. The XXIV Congress of Pavlov's Physiology Society theses collection, Saint Petersburg, September 11-15, 2023. Saint Petersburg, ООО "Izdatelstvo VVM" Publ., 2023, p. 276. EDN FTBLHT. (In Russian)

6. Оценка протекторных свойств аргона в условиях гипоксической гипоксии при подостром воздействии / П. Э. Солдатов, О. А. Дадашева, Т. С. Гурьева, А. А. Маркин, С. В. Татаркин, А. М. Носовский, И. А. Смирнов, А. Ю. Тюрин-Кузьмин, Ю. А. Шулагин, Т. С. Смоленская, В. И. Гришин // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2015. – Т. 49, № 2. – С. 23–31. – EDN TNUDXB.

Soldatov P. E., Dadasheva, O. A., Guryeva, T. S., Markin, A. A., Tatarkin, S. V., Nosovskiy, A. M., Smirnov, I. A., Tyurin-Kuzmin, A. Yu., Shulagin, Yu. A., Smolenskaya, T. S., Grishin, V. I. *Otsenka protektrnykh svoystv argona v usloviyakh gipoksicheskoy gipoksii pri podostrom vozdeystvii* [Testing the protective properties of argon during subacute exposure to hypoxic hypoxia]. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*, 2015, vol. 49, no. 2, pp. 23-31. EDN TNUDXB. (In Russian)

7. Система гемостаза при дыхании гипоксическими аргон-кислородными и азот-кислородными смесями / Д. С. Кузичкин, А. А. Маркин, О. А. Журавлева, Б. В. Моруков, И. В. Заболотская, Л. В. Вострикова // Физиология человека. – 2015. – Т. 41, № 4. – С. 132. – DOI 10.7868/S0131164615030108. EDN TZMDRD.

Kuzichkin, D. S., Markin, A. A., Zhuravleva, O. A., Morukov, B. V., Zabolotskaya, I. V., Vostrikova, L. V. *Sistema gemostaza pri dykhanii gipoksicheskim argon-kislородnymi i azot-kislородnymi smesyami* [The status of hemostasis system in hypoxic nitrogen-oxygen and argon-oxygen diving gases]. *Fiziologiya cheloveka*, 2015, vol. 41, no. 4, p. 132. DOI 10.7868/S0131164615030108. EDN TZMDRD. (In Russian)

8. Метаболические реакции организма при дыхании гипоксическими аргон-кислородными и азот-кислородными смесями / А. А. Маркин, О. А. Журавлева, Б. В. Моруков, Д. С. Кузичкин, И. В. Заболотская, Л. В. Вострикова // Физиология человека. – 2017. – Т. 43, № 4. – С. 126–133. – DOI 10.7868/S0131164617040105. – EDN YUSIBN.

Markin, A. A., Zhuravleva, O. A., Morukov, B. V., Kuzichkin, D. S., Zabolotskaya, I. V., Vostrikova, L. V. *Metabolicheskie reaktsii organizma pri dykhanii gipoksicheskimi argon-kislородnymi i azot-kislородnymi smesyami* [Metabolic reactions of the body during breathing hypoxic argon-oxygen and nitrogen-oxygen mixtures]. *Fiziologiya cheloveka*, 2017, vol. 43, no. 4, pp. 126-133. DOI 10.7868/S0131164617040105. EDN YUSIBN. (In Russian)

9. Реуцкая, Е. А. Применение гипероксической газовой смеси для восстановления дыхательной системы биатлонистов / Е. А. Реуцкая // Современная система спортивной подготовки в биатлоне : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Омск, 23–24 апреля 2015 года / под общей редакцией В. А. Аикина, Н. С. Загурского. – Омск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный университет физической культуры и спорта», 2015. – С. 248–259. EDN WFHDQB.

Reutskaya, Ye. A., Aikin, V. A., Zagurskiy, N. S. [gen. eds]. *Primenenie giperoksicheskoy gazovoy smesi dlya vosstanovleniya dykhatelnoy sistemy biatlonistov* [Utilizing the hyperoxic gas mixture for recovery of biathletes' respiratory system]. Modern system of sport training in biathlon: materials of the IV All-Russian scientific and practical conference, Omsk, April 23-24, 2015. Omsk, Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education “Siberian State University of Physical Education and Sport” Press, 2015, pp. 248-259. EDN WFHDQB. (In Russian)

10. Алиев, Д. Ф. Эффекты применения газовой смеси с содержанием кислорода 93 % при выполнении специальной нагрузки у пловцов / Д. Ф. Алиев, Ю. В. Корягина // Научно-спортивный вестник Урала и Сибири. – 2016. – № 2(10). – С. 29–35. EDN XQVLCB.

Aliev, D. F., Koryagina, Yu. V. *Effekty primeneniya gazovoy smesi s sodержaniem kisloroda 93 % pri vypolnenii spetsialnoy nagruzki u plovtsov* [Effects of utilizing the gas mixture with 93 % oxygen content during swimmers' special load training]. *Nauchno-sportivnyy vestnik Urala i Sibiri*, 2016, no. 2(10), pp. 29-35. EDN XQVLCB. (In Russian)

11. Алиев, Д. Ф. Гипероксия как средство, ускоряющее процессы восстановления пловцов / Д. Ф. Алиев, Ю. В. Корягина // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2016. – № 1(133). – С. 23–29. EDN VPQFPR.

Aliev, D. F., Koryagina, Yu. V. *Giperoksiya kak sredstvo, uskoryayushchee protsessy vosstanovleniya plovtsov* [Hyperoxia as an accelerator of recovery processes for swimmers]. *Lechebnaya fizkultura i sportivnaya meditsina*, 2016, no. 1(133), pp. 23-29. EDN VPQFPR. (In Russian)

12. Левшин, И. В. Гипероксические и гипоксические газовые смеси в спортивной практике / И. В. Левшин // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2012. – № 11(107). – С. 37–44. EDN PFBCMT.

Levshin, I. V. *Giperoksidicheskie i gipoksidicheskie gazovye smesi v sportivnoy praktike* [Hyperoxic and hypoxic gas mixtures in sport practice]. *Lechebnaya fizkultura i sportivnaya meditsina*, 2012, no. 11(107), pp. 37-44. EDN PFBCMT. (In Russian)

13. Нехорошев, А. С. С аквалангом на глубину / А. С. Нехорошев. – Москва : ДОСААФ, 1977. – 191 с.

Nekhoroshev, A. S. *S akvalangom na glubinu* [Diving with an aqualung]. Moscow, DOSAAF Publ., 1977, 191 p. (In Russian)

14. Алексеев, С. М. Высотные и космические скафандры / С. М. Алексеев, С. П. Уманский. – Москва : Машиностроение, 1973. – 280 с.

Alekseev, S. M., Umanskiy, S. P. *Vysotnye i kosmicheskie skafandry* [Altitude and space high-pressure suit]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973, 280 p. (In Russian)

15. Основы космической биологии и медицины / под общей редакцией О. Г. Газенко и М. Кальвина. – Т. II, кн. первая. – Москва : Наука, 1975. – 428 с.

Gazenko, O. G., Kalvin, M. [gen. eds]. *Osnovy kosmicheskoy biologii i meditsiny. T. II, kn. pervaya* [Basics of space biology and medicine, vol. II, Book 1]. Moscow, Nauka Publ., 1975, 428 p. (In Russian)

16. Кленков, И. Р. Профилактика токсического действия азота при погружении на глубины от 45 до 60 м при дыхании воздухом / И. Р. Кленков, Н. В. Арсенов // Известия Российской военно-медицинской академии. – 2018. – Т. 37, № 1 S1-1. – С. 297–299. EDN VWCFSW.

Klenkov, I. R., Arsenov, N. V. *Profilaktika toksicheskogo deystviya azota pri pogruzhenii na glubiny ot 45 do 60 m pri dykhanii vozdukhom* [Prevention of nitrogen toxic effect of breathing the air during submersion from 45 to 60 m deep]. *Izvestiya Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*, 2018, vol. 37, no. 1 S1-1, pp. 297-299. EDN VWCFSW. (In Russian)

17. Диденко, Н. С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ / Н. С. Диденко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1990. – 158, [2] с.

Didenko, N. S. *Regenerativnyye respiratory dlya gornospasatelnykh rabot. 2-e izd. pererab. i dop.* [Regenerative respirators for mine-rescue works]. Moscow, Nedra Publ., 1990, 158 [2] p. (In Russian)

18. Асфиксия, вызванная вдыханием азота: проблемы и особенности диагностики / А. А. Халиков, Р. Х. Сагидуллин, М. А. Лапин, К. О. Кузнецов // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31089> (дата обращения: 29.11.2023).

Khalikov, A. A., Sagidullin, R. Kh., Lapin, M. A., Kuznetsov, K. O. *Asfiksiya, vyzvannaya vdykhanie azota: problemy i osobennosti diagnostiki* [Asphyxia caused by inhaling nitrogen: problems and diagnostics specifics]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2021, no. 5. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31089> (accessed 29.11.2023). (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым  
Дата поступления рукописи 19.02.2024  
Дата опубликования 19.06.2024

*Valery Vladimirovich Mamayev, Dr. Sci. (Tech.), deputy director (on science);  
e-mail: [respirator@mail.dnmchs.ru](mailto:respirator@mail.dnmchs.ru);*

*Ruslan Sergeevich Pletenetskiy, senior scientific associate; e-mail: [zoloto-rusland@yandex.ru](mailto:zoloto-rusland@yandex.ru);*

*Lyubov Alekseyevna Zborshchik, senior scientific associate; e-mail: [lzborschik@yandex.ru](mailto:lzborschik@yandex.ru);*

*Viktor Ivanovich Frantsev, principle engineer; e-mail: [oszd\\_niigd\\_3@mail.ru](mailto: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*

## UTILIZATION OF ARTIFICIAL GASEOUS ENVIRONMENTS IN SELF-CONTAINED BREATHING APPARUSES

**Objective.** To determine the effect of breathing gas mixture on human organism and potential quantitative ratio of components in the artificial gaseous environments for improving the safety and technical characteristics of the self-contained breathing apparatuses.

**Methods.** Analytical methods of researching the effect of the gaseous environment on the human organism.

**Results.** The results of studies made it possible to determine how every single component of the breathing gas mixture effects the functional state of a human organism in order to design the respirators with optimum oxygen content.

**Scientific novelty.** The effect of the breathing gas mixture on the human organism and the potential quantitative ratio of components in the artificial gaseous environments have been established

**Practical value.** The results of the investigations may be applied in the development of the respirator with optimum oxygen content.

**Keywords:** *breathing apparatus; respirator; breathing gas mixture; oxygen; nitrogen; nitrogen filling.*

**For citation.** Mamayev V. V., Pletenetskiy R. S., Zborshchik L. A., Frantsev V. I. Utilization of artificial gaseous environments in self-contained breathing apparatuses. *Nauchnyy vestnik NII “Respirator”*, 2024, no. 2(61), pp. 54-64. EDN UWZVAH.

УДК [614.8-051:331.461]:001.891.34

*Анатолий Федорович Иваненко, нач. отд.; e-mail: [ianatoliy58@yandex.ru](mailto:ianatoliy58@yandex.ru);*

*Петр Евгеньевич Мухин, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; e-mail: [petr63203@gmail.com](mailto:petr63203@gmail.com)*

*Федеральное государственное казенное учреждение*

*«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»*

*283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-49*

## ОБОСНОВАНИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ГОРНОСПАСАТЕЛЕЙ

**Цель.** Разработка методического подхода к анализу опасностей и оценке профессионального риска горноспасателей в ходе ведения аварийно-спасательных работ в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность, для прогнозирования опасных последствий возможных ЧС и повышения уровня безопасности личного состава ВГСЧ ДНР.

**Методы.** Вероятностно-статистические, аналитические исследования, обобщение и систематизация информации по анализу опасностей и оценке риска, балльный метод.

**Результаты.** Разработаны методические подходы к оценке профессионального риска для горноспасателей.

**Научная новизна.** Впервые разработан алгоритм анализа и оценки профессионального риска для защиты горноспасателей от несчастных случаев и профессиональных заболеваний при ведении аварийно-спасательных работ в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность.

**Практическая значимость.** Предложенные алгоритм анализа и методика оценки риска позволяют оценить профессиональный риск горноспасателей при ведении аварийно-спасательных работ в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность, и разработать превентивные меры по его устранению или снижению. Эти подходы будут использованы при разработке методических рекомендаций.

**Ключевые слова:** опасные и вредные производственные факторы; аварийно-спасательные работы; профессиональный риск; алгоритм анализа; оценка риска; горноспасатель; необслуживаемые горные выработки.

**Для цитирования.** Иваненко А. Ф., Мухин П. Е. Обоснование научно-методических подходов к оценке профессионального риска горноспасателей // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 65–73. EDN VGZPNN.

**Постановка проблемы.** Обеспечение безопасных и здоровых условий труда, защита здоровья и жизни граждан в процессе трудовой деятельности стоят в приоритете государственной политики Российской Федерации в сфере охраны труда, независимо от отраслевой принадлежности предприятия и формы собственности. Это закреплено в Конституции Российской Федерации, а также в Федеральных законах от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (далее – ФЗ № 116-ФЗ) и от 24.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». Реструктуризация угольной отрасли, предполагающая закрытие нерентабельных государственных шахт, на которых остались доступные для добычи непромышленным способом забалансовые запасы, привела к появлению полулегальных шахт, так

называемых копанок (далее – объект). Объемы несанкционированной добычи угля в ДНР достигают значительных величин. При этом состояние охраны труда и безопасность ведения горных работ на таких объектах находится на недопустимо низком уровне. Это приводит к возникновению аварий, ликвидация которых требует привлечения специальных сил и средств. Однако большинство объектов не состоят на обслуживании подразделений федерального государственного казенного учреждения «Военизированная горноспасательная часть Донецкой Народной Республики» (далее – ВГСЧ ДНР). Соответственно, на них отсутствуют планы мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий и их специального раздела – плана ликвидации аварий (далее – ПЛА). Тем не менее на Объектах работают люди, и в случае возникновения аварии (инцидента) для выполнения аварийно-спасательных работ горноспасательные подразделения привлекаются на основании обращений органов местного самоуправления.

В настоящее время в нормативных правовых актах, федеральных нормах и правилах и других нормативных документах РФ, регламентирующих требования в области промышленной безопасности и охраны труда, не в полной мере обеспечено нормативное регулирование и отсутствуют рекомендации по безопасному выполнению аварийно-спасательных работ подразделениями горноспасательной службы в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность. Поэтому актуальной является задача разработки методического документа по безопасному проведению аварийно-спасательных работ подразделениями горноспасательной службы в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность, с учетом результатов анализа опасностей и оценки профессионального риска горноспасателей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Существует значительное количество работ и документов, посвященных вопросам охраны труда и промышленной безопасности на угольных шахтах [1–5]. Отдельное место среди них занимают публикации, посвященные проблемам, связанным с реструктуризацией угольной отрасли и закрытием нерентабельных шахт [6, 7]. Согласно статье 10 ФЗ № 116-ФЗ предприятия, осуществляющие добычу полезного ископаемого подземным способом, относятся к I классу опасности и обязаны планировать и осуществлять мероприятия по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте, а также заключать договоры с профессиональными аварийно-спасательными службами (в нашем случае с ВГСЧ ДНР) на обслуживание предприятий.

**Цель исследования** – разработка методического подхода к анализу опасностей и оценке профессионального риска горноспасателей в ходе ведения аварийно-спасательных работ в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность, для прогнозирования опасных последствий возможных ЧС и повышения уровня безопасности личного состава ВГСЧ ДНР.

**Результаты исследований.** Оценка профессионального риска – важный инструмент в сфере обеспечения безопасных и здоровых условий труда

горноспасателей. Оценка риска позволяет руководителю горноспасательных работ оценить риск возникновения ЧС, спрогнозировать вероятность возникновения ЧС и уровень угрозы для личного состава, принять необходимые организационные и инженерно-технические решения и тем самым минимизировать негативные социальные последствия.

Алгоритм анализа профессионального риска для защиты горноспасателей от несчастных случаев и профессиональных заболеваний на рабочем месте может быть представлен следующим образом:

- получение максимально полной информации об объекте, о его горно-геологических и горнотехнических характеристиках, о состоянии охраны труда и промышленной безопасности, о кадровом составе;
- получение максимально полной информации о наличии на объекте технической документации, предусмотренной федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности;
- идентификация опасностей (выявление вредных и опасных факторов рабочей среды и трудового процесса и их источников; определение соответствия психофизиологических характеристик горноспасателей предъявляемым требованиям в сфере профессиональной деятельности);
- определение параметров опасностей, которые могут привести к ЧС;
- составление реестра идентифицированных опасностей;
- установление критериев профессионального риска ЧС (оправданного риска);
- оценка риска (вероятность возникновения ЧС, определение масштаба последствий нежелательного события, сравнительная оценка риска и вывод о допустимости риска);
- выбор и оценка средств и методов защиты от каждого вида опасности;
- оценка остаточного риска после внедрения мер защиты;
- оценка уровня защиты жизни и здоровья личного состава в целом в соответствии с условиями труда.

Выявление характерных опасностей основано на анализе места, условий и специфических особенностей ведения аварийно-спасательных работ в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность, подразделениями горноспасательной службы. Результат анализа – определение вредных и опасных факторов рабочей среды и трудового процесса при выполнении аварийно-спасательных работ и систематизация по определенным признакам. Как свидетельствуют статистические данные, технология ликвидации источников, причин и последствий тяжелых аварий сопряжена с высокими рисками травмирования горноспасателей поражающими факторами взрывов газовоздушных смесей, отравлением токсическими продуктами горения, воздействием высоких температур, обрушением горных пород.

Виды опасности отличаются частотой и вероятностью их возможного возникновения и степенью тяжести вызываемых ими последствий.

На этапе оценки профессионального риска для каждой идентифицированной опасности предлагается рассчитывать индекс профессионального риска (ИПР, балл), который представляет собой произведение балльных значений трех показателей: вероятности возникновения опасности ( $V_p$ ), подверженности работника воздействию такой опасности ( $П_d$ ) и последствий наступления опасностей ( $П_c$ ) по формуле

$$\text{ИПР} = V_p \times П_d \times П_c.$$

Далее приведен процесс определения балльных показателей  $V_p$ ,  $П_d$  и  $П_c$  и расчета ИПР в составе процедуры анализа опасностей и оценки профессионального риска возникновения ЧС при ведении аварийно-спасательных работ на объекте (табл. 1).

Таблица 1

Значения балльных показателей составляющих профессионального риска

Баллы	Вероятность возникновения опасности ( $V_p$ )*
10	Скорее всего, произойдет
8	Очень вероятно
6	Нехарактерно, но возможно
4	Маловероятно
2	Вряд ли возможно
1	Практически невозможно
0,5	Теоретически невозможно
Баллы	Подверженность работника воздействию такой опасности ( $П_d$ )
10	Постоянно
8	Ежедневно в течение рабочего дня
6	От случая к случаю (еженедельно)
4	Иногда (ежемесячно)
2	Редко (ежегодно)
1	Очень редко
0,5	Практически никогда
Баллы	Тяжесть последствий наступления опасностей ( $П_c$ )
10	Катастрофа, много жертв
8	Разрушения, есть жертвы
6	Серьезные последствия, есть смертельный случай
4	Тяжелая травма, потеря трудоспособности более чем на 5 сут
2	Временная нетрудоспособность до 5 сут
1	Легкая травма, оказана первая медицинская помощь
0,5	Легкая травма, медицинская помощь не требуется

В качестве исходных данных для определения балльных показателей необходимо использовать:

- ГОСТы и иные нормативные документы, регламентирующие требования и предельные нормы по видам опасных и вредных производственных факторов, требования безопасности к производственным процессам, требования безопасности к производственному оборудованию, требования к средствам индивидуальной и коллективной защиты и соответствующие технические регламенты;

- акты и материалы проверок соблюдения требований по охране труда, промышленной и пожарной безопасности, санитарных правил и норм государственными контрольно-надзорными органами, материалы расследований несчастных случаев на производстве, профессиональных заболеваний, аварий и инцидентов на технических устройствах и объектах;

- статистические данные по травматизму и профессиональным заболеваниям;

- отчеты по технологическому обслуживанию, соблюдению технических регламентов и другие материалы, содержащие информацию о характеристиках технологических процессов и применяемом оборудовании, составе рабочей среды;

- персональные данные о профессионально-квалификационных характеристиках и функциональном состоянии горноспасателей;

- материалы опросов работников, их предложения и жалобы;

- опыт оценки профессионального риска;

- результаты мониторинга и контрольных мероприятий системы управления профессиональными рисками.

Индекс профессионального риска рассчитывается по каждой идентифицированной опасности. Пример балльной шкалы оценки профессионального риска и корректирующих мероприятий по недопущению, устранению или снижению уровня профессионального риска до допустимого уровня приведен в таблице 2.

Таблица 2

Балльная шкала оценки профессионального риска

Баллы	Риск	Корректирующие мероприятия
> 512	Очень высокий	Немедленное прекращение деятельности (работ)
511 – 216	Высокий	Необходимо принятие срочных мер для снижения уровня опасности до начала выполнения работ
215 – 64	Существенный	Необходимы разработка и принятие соответствующих мер по улучшению ситуации
63 – 8	Возможный	Необходимы постоянный ведомственный контроль и профилактические меры
7 – 1	Незначительный	Дополнительные меры не требуются, ведомственный контроль принятых мер
< 1	Минимальный	Наблюдение в штатном режиме

Профессиональный риск является возможным результатом воздействия опасных и вредных производственных факторов на любого работника любой профессии, находящегося на конкретном рабочем месте. Оценка

риска причинения вреда здоровью или жизни работника должна учитывать параметры и факторы, которые носят не среднестатистический характер, а достаточно индивидуальный, отражающий все негативные факторы, влияющие на безопасность жизнедеятельности конкретного человека. Такими факторами, кроме факторов рабочей среды, могут быть уровень профессиональной подготовки, психофизиологические особенности индивидуума, место проживания и условия проживания, маршрут следования на работу и используемый вид транспорта, образ жизни и отдыха и т.д. Анализ вышеуказанных факторов входит в процедуру оценки профессионального риска горноспасателей.

На основании проведенных исследований определены основные средства уменьшения рисков поражений горноспасателей при ведении аварийно-спасательных работ (табл. 3).

Таблица 3

## Основные средства уменьшения рисков поражений горноспасателей

Вид риска поражения	Средства уменьшения рисков
Ударная волна от взрыва метановоздушной смеси	– применение мер по недопущению создания взрывоопасной метановоздушной смеси и наличия источников воспламенения; – пользование методики оценки взрывоопасности метановоздушной смеси в аварийных выработках; – комплекс противовзрывной быстровозводимый типа КПБ
Высокая температура от пожара или взрыва метановоздушной смеси (работа в зоне повышенных температур)	– охлаждающий элемент в респираторе; – противотепловая куртка; – противотепловой костюм; – применение аэраторов
Продукты пожара или взрыва метановоздушной смеси (непригодная для дыхания газовая обстановка)	– основной респиратор типа Р-30 или РХ-4Е; – вспомогательный респиратор Р-34; – воздушный дыхательный аппарат; – усиление проветривания выработки; – дистанционное тушение пожара
Отравление продуктами пожарных газов	– основной респиратор типа Р-30 или РХ-4Е; – вспомогательный респиратор Р-34; – воздушный дыхательный аппарат; – усиление проветривания выработки
Падение с высоты	– применение средств индивидуальной и коллективной защиты (предохранительные пояса, страховочные канаты и др.); – применение предохранительной бечевы; – перекрытие или ограждение примыкающих вертикальных или наклонных выработок и провалов
Обрушение пород	– усиление крепи в месте ведения АСР; – применение опережающего крепления

**Выводы.** На основании проведенных исследований идентифицированы основные опасности при выполнении аварийно-спасательных работ подразделениями ВГСЧ ДНР в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность; определены возможные причины, приводящие к ЧС; предложен алгоритм анализа опасностей и оценки профессионального риска; предложен методический подход к количественной и качественной оценке профессионального риска при возникновении ЧС.

Таким образом, разработанный алгоритм анализа опасностей и оценки профессионального риска при выполнении аварийно-спасательных работ в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность, позволит руководителю горноспасательных работ оперативно оценить профессиональный риск при возникновении ЧС, спрогнозировать вероятность возникновения опасных последствий для личного состава, принять необходимые решения и тем самым минимизировать социальные последствия. Результаты исследований позволят разработать Методические рекомендации по ведению аварийно-спасательных работ в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность.

#### Список литературы / References

1. Мамаев, В. В. Оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах / В. В. Мамаев, А. Ф. Иваненко, П. Е. Мухин // Вестник Академии гражданской защиты. – 2019. – № 3(19). – С. 124–128.

Mamayev, V. V., Ivanenko, A. F., Mukhin, P. Ye. *Otsenka riska vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh* [Assessment of the risk of emergencies at hazardous production facilities]. *Vestnik Akademii grazhdanskoy zashchity*. 2019, no. 3(19), pp. 124–128. (In Russian)

2. Методические рекомендации по выбору методов оценки рисков чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах / В. Б. Капустин, А. Н. Янченко, В. Г. Агеев, В. В. Мамаев, А. Ф. Иваненко, П. Е. Мухин, Л. М. Попова. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2021. – 28 с.

Kapustin, V. B., Yanchenko, A. N., Ageyev, V. G., Mamayev, V. V., Ivanenko, A. F., Mukhin, P. Ye., Popova, L. M. *Metodicheskiye rekomendatsii po vyboru metodov otsenki riskov chrezvychaynykh situatsiy na opasnykh proizvodstvennykh obyektakh* [Methodological recommendations on the choice of methods for assessing the risks of emergencies at hazardous production facilities]. Donetsk, NIIGD “Respirator”, 2021, 28 p. (In Russian)

3. Галеев, А. Д. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах / А. Д. Галеев, С. И. Поникаров. – Казань : КНИТУ, 2017. – 152 с.

Galeyev, A. D., Ponikarov, S. I. *Analiz riska avariyy na opasnykh obyektakh* [Accident risk analysis at hazardous production facilities]. Kazan, KNITU Publ., 2017, 152 p. (In Russian)

4. Белов, С. В. Техногенные системы и экологический риск / С. В. Белов. – Москва : Издательство Юрайт, 2022. – 434 с.

Belov, S. V. *Tekhnogennyye sistemy i ekologicheskiy risk* [Technogenic systems and environmental risk]. Moscow, Izdatelstvo Yurayt Publ., 2022, 434 p. (In Russian)

5. Batugin, A. Critically Stressed Areas of Earth's Crust as Medium for Mancaused Hazards. VII International Scientific Conference "Problems of Complex Development of Georesources". *E3S Web of Conferences*, 56, 02007 (2018). (In English)

6. Иваненко, А. Ф. Оценка экологического риска при ликвидации и консервации угольных шахт ДНР / А. Ф. Иваненко, П. Е. Мухин // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 1(60). – С. 106–113.

Ivanenko, A. F., Mukhin, P. Ye. *Otsenka ekologicheskogo riska pri likvidatsii i konservatsii ugolnykh shakht DNR* [Environmental risk assessment during liquidation and conservation of coal mines of the DPR]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2023, no. 1(60), pp. 106-113. (In Russian)

7. Попов, В. Н. Меры по смягчению социальных последствий реструктуризации угольной промышленности в угледобывающих странах с переходной экономикой / В. Н. Попов // Уголь. – 2002. – № 1. – С. 8–10.

Popov, V. N. *Mery po smyagcheniyu sotsialnykh posledstviy restrukturiatsii ugolnoy promyshlennosti v ugledobyvayushchikh stranakh s perekhodnoy ekonomikoy* [Measures to mitigate the social consequences of the restructuring of the coal industry in coal-producing countries with economies in transition]. *Ugol*, 2002, no. 1, pp. 8-10.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым  
Дата поступления рукописи 26.04.2024  
Дата опубликования 19.06.2024

*Anatoly Fyodorovich Ivanenko, head of department; e-mail: [ianatoliy58@yandex.ru](mailto:ianatoliy58@yandex.ru);*

*Pyotr Yevgenyevich Mukhin, Cand. Sci. (Tech.), senior scientific associate; e-mail: [petr63203@gmail.com](mailto:petr63203@gmail.com)*

*Federal State Institution "The scientific research institute "Respirator" of EMERCOM of Russia"  
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-49*

## **SUBSTANTIATION OF SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE OCCUPATIONAL RISK OF RESCUERS**

**Objective.** Development of a methodological approach to hazard analysis and assessment of the professional risk of rescuers during emergency rescue operations in unattended mine workings with exits to

the Earth's surface to predict the dangerous consequences of possible emergencies and increase the safety level of personnel of the DPR HCV.

**Methods.** Probabilistic and statistical, analytical research, generalization and systematization of information on hazard analysis and risk assessment, point method.

**Results.** Methodological approaches to the assessment of occupational risk for rescuers have been developed.

**Scientific novelty.** Novel an algorithm for the analysis and assessment of occupational risk has been developed to protect rescuers from accidents and occupational diseases when conducting emergency rescue operations in unattended mine workings with exits to the Earth's surface.

**Practical value.** The proposed analysis algorithm and risk assessment methodology make it possible to assess the professional risk of rescuers when conducting emergency rescue operations in unattended mine workings with exits to the earth's surface, and develop preventive measures to eliminate or reduce it. These approaches will be used in the development of methodological recommendations.

**Keywords:** *dangerous and harmful production factors; emergency rescue operations; occupational risk; analysis algorithm; risk assessment; mine rescuer; maintenance-free mine workings.*

**For citation.** Ivanenko A. F., Mukhin P. Ye. Substantiation of scientific and methodological approaches to assessing the occupational risk of rescuers. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 2(61), pp. 65-73. EDN VGZPNN.

УДК 622.867.32(091):614.842(091)

*Николай Георгиевич Ранга, инспектор; e-mail: [ranga71@mail.ru](mailto:ranga71@mail.ru)*

*Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования  
«Донецкий институт Государственной противопожарной службы МЧС России»  
283050, Донецк, ул. Розы Люксембург, 34А. Тел.: +7 (856) 332-17-01*

*Андрей Петрович Кирьян, канд. тех. наук, заместитель начальника; e-mail: [andrei-kiryan@mail.ru](mailto:andrei-kiryan@mail.ru)*

*Федеральное государственное казенное учреждение  
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»  
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-01*

*Виталий Леонидович Ефименко, канд. техн. наук, доц.; e-mail: [vitale.2020@mail.ru](mailto:vitale.2020@mail.ru);*

*Михаил Сергеевич Хацько, нач. каф.; e-mail: [kursantaczu@bk.ru](mailto:kursantaczu@bk.ru)*

*Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования  
«Донецкий институт Государственной противопожарной службы МЧС России»  
283050, Донецк, ул. Розы Люксембург, 34А. Тел.: +7 (856) 332-17-01*

## **ДЫХАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ КОНСТРУКЦИИ С. И. ФЕСЕНКО: НАЧАЛО ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ СТРАНЫ**

**Цель.** Исследовать предпосылки создания отдельной газодымозащитной службы в структуре пожарной охраны с учетом опыта применения в работе отечественного дыхательного аппарата конструкции С. И. Фесенко, изобретенного на Макеевской центральной спасательной станции Донецкой области.

**Методы.** Сравнительное и типологическое исследование появления и применения в работе пожарной охраны дыхательного аппарата конструкции С. И. Фесенко.

**Результаты.** Применение дыхательных аппаратов изолирующего типа в работе пожарной охраны послужило основой создания газодымозащитной службы и обеспечило безопасные условия работы пожарных.

**Научная новизна.** Исследованы особенности дыхательного аппарата конструкции С. И. Фесенко и возможность применения его в пожарной охране в 30-х гг. XX столетия. Проведено сравнение первых отечественных дыхательных аппаратов, которые состояли на вооружении в пожарных командах. Установлены временные рамки образования в пожарной охране нового направления – газодымозащитной службы и утверждения первых нормативно-технических документов по эксплуатации и обслуживанию дыхательных аппаратов различной конструкции.

**Практическая значимость.** Проведенное исследование позволяет восполнить утраченную информацию о дыхательном аппарате конструкции С. И. Фесенко и применении его в работе пожарной охраны в 30-х гг. XX столетия. Выполнен обзор дыхательных аппаратов, которые состояли на вооружении в пожарных подразделениях на момент создания газодымозащитной службы. Данная работа может быть использована для проведения занятий со слушателями и курсантами вузов МЧС России по направлению «Газодымозащитная служба и аварийно-спасательная техника».

**Ключевые слова:** *аппарат конструкции С. И. Фесенко; газодымозащитная служба; дыхательный аппарат; пожарная охрана; респиратор; самоспасатель.*

**Для цитирования:** *Ранга Н. Г., Кирьян А. П., Ефименко В. Л., Хацько М. С. Дыхательный аппарат конструкции С. И. Фесенко: начало газодымозащитной службы страны // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 74–84. EDN TZBCXW.*

**Постановка проблемы.** В 30-х гг. XX столетия при ликвидации пожаров на объектах народного хозяйства пожарная охрана испытывала необходимость в дыхательном оборудовании, отвечающем насущным потребностям огнеборцев.

Требовался отечественный аппарат, способный облегчить работу бойцов пожарной охраны и обеспечить защиту органов дыхания от вредных газов. С этой целью сотрудники пожарной охраны В. В. Дехтерев и Г. Е. Селицкий побывали в 1932 г. на Донбассе и изучили опыт организации спасательного и респираторного дела в Донецком каменноугольном бассейне. После прохождения обучения на Макеевской центральной спасательной станции Донецкой области они привезли и внедрили в гарнизоне пожарной охраны города Ленинград дыхательные аппараты (рис. 1), получившие название по имени изобретателя Сергея Ивановича Фесенко.



Рис. 1. В. В. Дехтерев с дыхательным аппаратом конструкции С. И. Фесенко

Применение в 1933 г. дыхательного аппарата при тушении сложного пожара послужило основой создания отдельного вида службы, получившего в дальнейшем название «газодымозащитная служба». В последующие годы в пожарной охране использовали кислородно-изолирующие противогазы различной конструкции, которые в процессе эксплуатации были модернизированы и усовершенствованы. Вместе с тем информация об аппарате конструкции С. И. Фесенко была незаслуженно забыта и в последующие годы исследований не проводилось. В настоящее время необходимо переосмыслить его значение и результаты исследования представить в научной литературе.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопрос применения в работе пожарной охраны аппарата конструкции С. И. Фесенко в научной

литературе остался малоизученным. Исследованиями возможности использования аппарата (самоспасателя) С. И. Фесенко в горноспасательном деле занимались в 20–30-е гг. прошлого столетия Н. Б. Левенец [1, 2], Б. Ф. Гриндлер [3], И. С. Новосильцев [4], В. А. Фаддеев [5].

В 2007 г. о С. И. Фесенко и его аппарате (самоспасателе) упоминалось в коллективной работе под редакцией А. М. Брюханова [6].

**Цель работы** – исследовать предпосылки создания отдельной газодымозащитной службы в структуре пожарной охраны с учетом опыта применения в работе отечественного дыхательного аппарата конструкции С. И. Фесенко, изобретенного на Макеевской центральной спасательной станции Донецкой области.

**Результаты исследования.** В первую очередь обратимся непосредственно к самому дыхательному аппарату, который в научной литературе обозначен как самоспасатель. Заметим, что в период становления газодымозащитной службы такие понятия, как «аппарат», «респиратор», «самоспасатель», были равнозначны и четкого разделения изначально не имели.

Сергей Иванович Фесенко (рис. 2) сконструировал дыхательный аппарат в 1925 г. Он работал старшим инструктором на Макеевской центральной спасательной станции, лаборантом станции горноспасательного дела Макеевского государственного научно-исследовательского института по безопасности работ и горноспасательному делу.



Рис. 2. С. И. Фесенко, инструктор Макеевской центральной горноспасательной станции

В 1919 г. вместе с горноспасателями Н. М. Гуторовым, М. Ф. Букреевым и несколькими респираторщиками принимал участие в ликвидации пожара на динамитном складе шахты «Чулковка», который был успешно ликвидирован. В 1924 г. С. И. Фесенко вместе с помощником начальника Макеевской центральной спасательной станции горным инженером М. П. Каверинным был командирован в Среднюю Азию для организации спасательных станций на шахтах «Сулукта» и «Кизил-Кия» Турктоптреста [7].

Собранный изобретателем прибор получил название «Самоспасатель «СФ» (рис. 3, 4).



Рис. 3. Демонстрация включения в дыхательный аппарат конструкции С. И. Фесенко

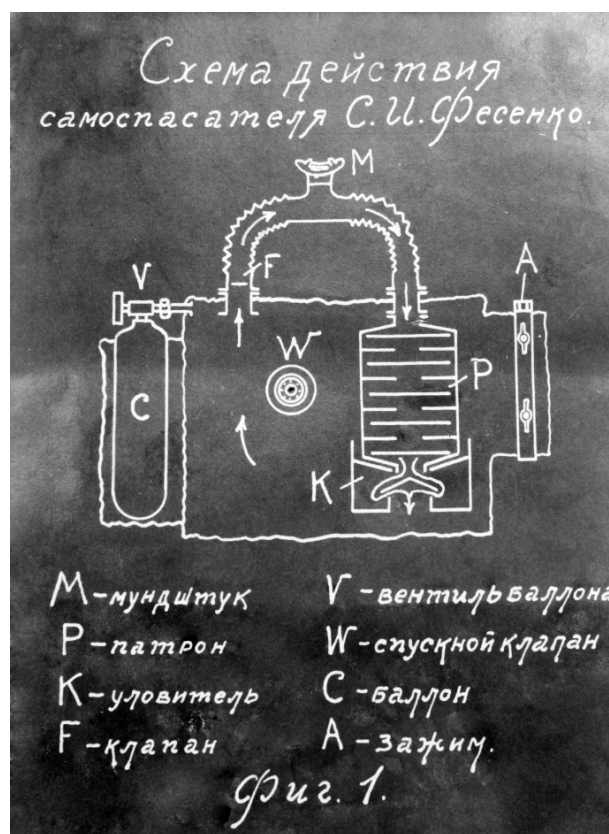


Рис. 4. Схема устройства и действия

В научно-технической библиотеке ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» сохранилось описание аппарата. «Самоспасатель «СФ» состоял из дыхательного мешка, изготовленного из прорезиненного материала, объемом 7–8 л. С правой стороны мешка, в специально устроенном кармане, помещался баллон емкостью 0,8 л и рабочим давлением 150 атм. Запас кислорода был рассчитан на 1 ч времени защитного действия. Патрон с уловителем щелочи находился внутри мешка и закрывался особым зажимом. На мешке также был установлен избыточный (спускной) клапан, который открывался при

переполнении мешка воздухом. К мундштучной коробке с загубником и двумя шлангами присоединялись резиновая пробка, которой закрывалось отверстие в нерабочее время, и носовой зажим. Перед правым мундштучным шлангом находился обратный клапан. Собранный аппарат надевали через плечи на шею респираторщика и прикрепляли специальным поясом. Вес баллона составлял 2380 г, патрона – 1110 г, дыхательного мешка с ремнями и мундштуком – 1950 г, уловителя щелочи – 95 г. Общий вес дыхательного аппарата 5525 г. Следует отметить, что «Самоспасатель «СФ» состоял из отечественных деталей, кроме часового патрона фирмы «Дрегер» выпуска 1904–1909 гг., который ввинчивался в отверстие левого мундштучного шланга (рис. 5) (Фонд научно-технической библиотеки ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС РОССИИ». Д. 109. Л. 35). Ориентировочная стоимость аппарата с импортным баллоном составляла около 25 руб. [2].

Испытание «Самоспасатель «СФ» прошел на Макеевской центральной спасательной станции Сталинского округа во время работ по ликвидации взрыва на шахте «Чайкино» (Макеевский район, 30 ноября 1925 г.). В стесненных условиях и при скоплении в горной выработке удушливых газов спасатели совместно с инструктором С. И. Фесенко успешно возвели чураковую перемышку. Также имелся опыт применения указанного аппарата во время ремонта доменных печей на Макеевском заводе треста «Югосталь», который показал удовлетворительные результаты [1].

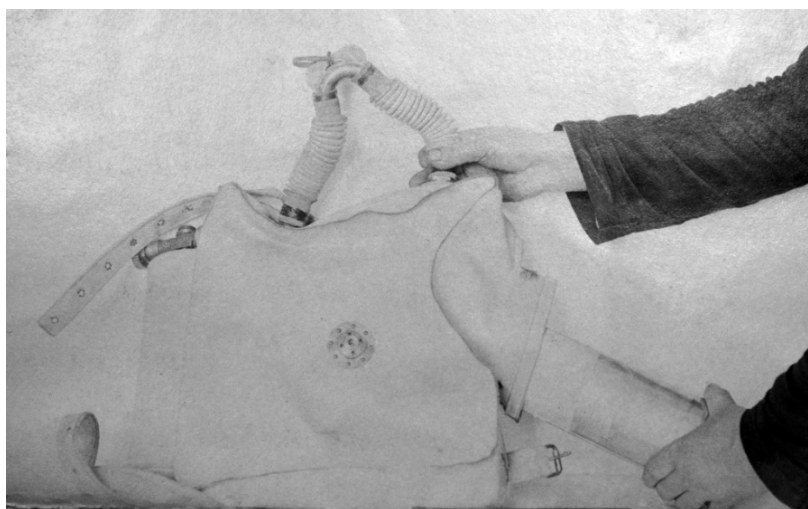


Рис. 5. Размещение патрона внутри дыхательного мешка аппарата конструкции С. И. Фесенко

Специалисты горноспасательного дела отмечали, что «Самоспасатель «СФ» устроен по типу Дрегера – Тюббена, но несколько отличался от последнего. Кроме того, указывались его простота устройства и сборки, а также возможность быстрого включения в него. Одним из достоинств аппарата была возможность

с легкостью использовать патрон любой конструкции. Также исследователи давали заключение о возможности изготовления дыхательного аппарата на станках [1, 3].

Наряду с достоинствами дыхательный аппарат конструкции С. И. Фесенко обладал недостатком – респираторщику требовались большой опыт и самообладание при его использовании ввиду того, что подача кислорода производилась вручную. Прибор не имел таких приспособлений для автоматической подачи кислорода, как редуктор, легочный автомат и байпас [5].

К недостаткам также относили небольшое нагревание вдыхаемого воздуха патроном, тепло которого оставалось в мешке из-за малой теплопроводности [1].

«Самоспасатель «СФ» успешно использовали в угольной отрасли [6], он также находился на оснащении в горноспасательных командах. Так, в 1930 г. на спасательной станции шахты «Бутовка» рудника «Ветка» состояли на вооружении среди другого специального имущества и два аппарата конструкции С. И. Фесенко (Государственный архив Донецкой Народной Республики. Ф. Р-1471. Оп. 1. Д. 16. Л. 86).

Конструктор С. И. Фесенко продолжил разработку своего прибора. В ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» осталась схема респиратора модели 1929 г. Вместе с тем в фонде научно-технической библиотеки сохранилась только графическая часть аппарата без его технического описания (рис. 6) (Фонд научно-технической библиотеки ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС РОССИИ». Д. 139. Л. 35).

Разработка модели респиратора С. И. Фесенко 1929 г. в силу обстоятельств не получила продолжения и было принято решение о выпуске первого отечественного респиратора со сжатым кислородом модели ТП 1928 г. (по имени инженеров Н. В. Туснова и А. И. Писарева). Для горноспасательного дела на заводе № 3 треста «Техника безопасности» (г. Орехово-Зуево) в 1930 г. был налажен выпуск респираторов ТП [8].

Для пожарного и спасательного дела разрабатывались дыхательные аппараты различной конструкции. Так, в 1930 г. сконструирован изолирующий кислородный противогаз КИП-1 системы инженера Гармаша [9]. Уже в 1932 г. в тресте «Техника безопасности» (г. Орехово-Зуево) начался массовый выпуск респираторов под маркой «КИП», рассчитанных на 1 ч времени защитного действия. Одна за другой были выпущены три модели этого респиратора – КИП-1, КИП-2, КИП-3. Наиболее совершенной из них стала модель КИП-3 [5].

Кроме того, в пожарной охране нашел применение рудничный кислородный респиратор РКР-2 модели 1934 г. [10]. Модернизированный респиратор, рассчитанный на 2 ч времени защитного действия, в 1934 г. начал выпускать завод № 3 треста «Техника безопасности» [8].

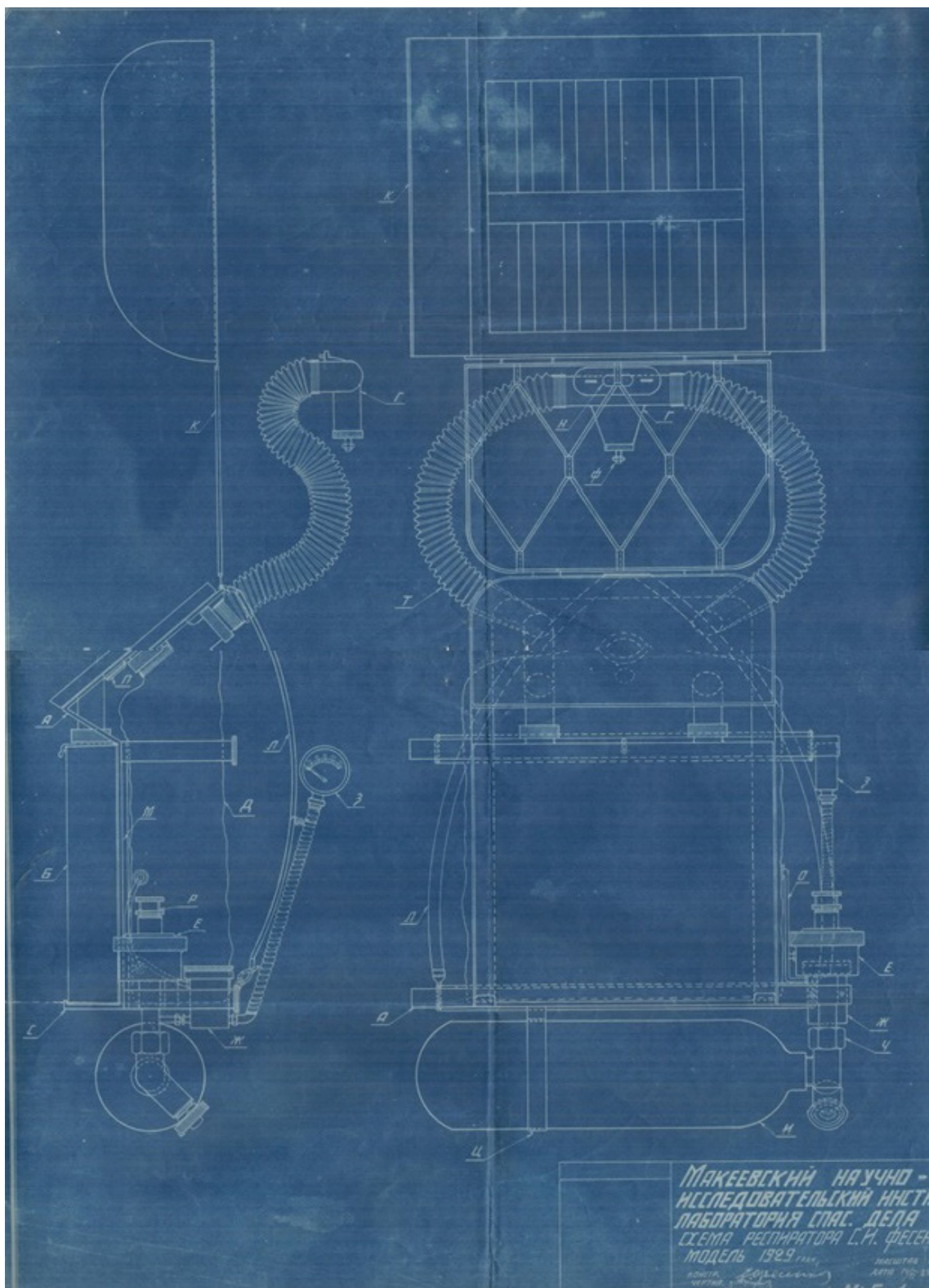


Рис. 6. Схема респиратора С. И. Фесенко модели 1929 г.

Постепенно отечественные дыхательные аппараты стали поступать в пожарные подразделения, однако для их обслуживания выпускалось недостаточно технической документации. В 1945 г. одной из первых

работ, подробно освещающей конструкцию и обслуживание дыхательных аппаратов, стала книга Г. Е. Селицкого «Газодымозащитное вооружение пожарных команд». Это издание оказалось настоящим пособием для работы с дыхательными аппаратами в пожарной охране. О назначении аппарата автор работы [11] говорит, что «в пожарных командах преимущественно применяются изолирующие аппараты... Основной целью применения всякого рода дымо- и газозащитных средств является защита нормального дыхания человека».

В 1945 г. в СССР было утверждено первое «Наставление по организации и боевой работе газодымозащитной службы (ГДЗС) пожарной охраны НКВД», в котором дано определение службы: «Газодымозащитной службой пожарной охраны называется техническая служба, имеющая на вооружении специальные средства защиты от дыма и газов» [10].

При создании газодымозащитной службы в составе пожарной охраны наряду с другими дыхательными аппаратами был поставлен на вооружение и аппарат конструкции С. И. Фесенко.

**Выводы.** Принятие решения о применении в работе пожарной охраны дыхательного аппарата конструкции С. И. Фесенко модели 1925 г. включало несколько важных составляющих. Во-первых, на 1932 г. это был единственный доступный дыхательный аппарат, на практике прошедший испытания при ликвидации аварий на шахтах и металлургических предприятиях и находящийся на вооружении горноспасателей. Во-вторых, аппарат был отечественного производства, отличался простотой сборки, состоял, кроме патрона, из отечественных деталей и дешево стоил. В-третьих, специалисты отмечали простоту устройства дыхательного аппарата, универсальность применения (рассчитан на использование любых регенеративных патронов). В-четвертых, аппарат относился к изолирующему типу и позволял работать в непригодной для дыхания среде. В-пятых, простота запуска его в работу, относительно небольшой вес 5,5 кг, запас кислорода на 1 ч времени защитного действия, высокая мобильность позволяли использовать аппарат в стесненных условиях, что во много раз повышало возможности огнеборцев при ликвидации пожара.

Исходя из того факта, что применение аппаратов изолирующего типа в работе пожарной охраны, таких как аппарат конструкции С. И. Фесенко, началось с 1933 г., можно сделать заключение о становлении газодымозащитной службы. В пожарных подразделениях в дальнейшем появились более современные модели отечественных респираторов по защите органов дыхания – КИП-3, КИП-5 и РКР-2. Для работников пожарной охраны возникли новые условия работы при тушении пожаров. Документальное оформление газодымозащитной службы произошло в 1945 г., когда было принято первое «Наставление по организации и боевой работе газодымозащитной службы (ГДЗС) пожарной охраны НКВД». В том же 1945 г. выпущена первая книга «Газодымозащитное вооружение пожарных команд», которая положила

начало оформлению нормативно-технической документации по устройству и эксплуатации дыхательных аппаратов.

### Список литературы / References

1. Левенец, Н. Б. Горно-спасательное дело. Самоспасатели для горнорабочих / Н. Б. Левенец. – Москва ; Ленинград ; Новосибирск : ГНТГИ, 1932. – Кн. 4, ч. 1. – С. 26–27.

Levenets, N. B. *Gorno-spasatelnoe delo. Samospasateli dlia gornorabochikh* [Mine rescue work. Self-rescuers for miners]. Moscow, Leningrad, Novosibirsk, GNTGI Publ., 1932, book 4, part 1, pp. 26-27. (In Russian)

2. Левенец, Н. Б. Новейшие горноспасательные аппараты и приборы, применяемые для их испытания / Н. Б. Левенец // Труды Первого Всесоюзного горного научно-технического съезда. – Москва : ЦУП ВСНХ СССР, 1928. – Т. 9. – С. 126–127.

Levenets, N. B. *Noveyshie gornospasatelnye apparaty i pribory, primenyaemye dlya ikh ispytaniya* [The latest mining rescue vehicles and devices used for their testing]. *Trudy Pervogo Vsesoiuznogo gornogo nauchno-tekhnicheskogo syezda*. Moscow, TsUP VSNKh SSSR Publ., 1928, vol. 9, pp. 126-127. (In Russian)

3. Гриндлер, Б. Ф. Ближайшие перспективы в вопросах развития и организации горноспасательного дела / Б. Ф. Гриндлер // Труды Первого Всесоюзного горного научно-технического съезда. – Москва : ЦУП ВСНХ СССР, 1928. – Т. 9. – С. 146–167.

Grindler, B. F. *Blizhayshie perspektivy v voprosakh razvitiia i organizatsii gornospasatel'nogo dela* [Immediate prospects for the development and organization of mining rescue]. *Trudy Pervogo Vsesoyuznogo gornogo nauchno-tekhnicheskogo syezda*. Moscow, TsUP VSNKh SSSR Publ., 1928, vol. 9, pp. 146-167. (In Russian)

4. Новосильцев, И. С. Рудничные пожары и спасательное дело / проф. И. С. Новосильцев. – 2-е изд., испр. и доп. – Днепропетровск ; Харьков : Техническое издательство, 1931. – С. 176.

Novosiltsev, I. S. *Rudnichnye pozhary i spasatel'noe delo* [Mine fires and rescue work]. 2<sup>nd</sup> edition revised and supplemented. Dnepropetrovsk, Kharkov, Tekhnicheskoe izdatelstvo Publ., 1931, p. 176. (In Russian)

5. Фаддеев, В. А. Горноспасательное дело в рудной промышленности / В. А. Фаддеев. – Харьков : Государственное научно-техническое издательство Украины, 1935. – С. 44.

Faddeev, V. A. *Gornospasatelnoe delo v rudny promyshlennosti* [Mining rescue in the ore industry]. Kharkov, Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatelstvo Ukrainy Publ., 1935, p. 44. (In Russian)

6. Золотий вік МакНДІ: історія створення, розвитку і становлення (1907–2007) / Під ред. О. М. Брюханова. – Донецьк : ТОВ «ВПП» ПРОМІНЬ», 2007. – С. 62.

Bryukhanov, A. M. *Zoloty vik MakNDI: istoriia stvorennia, rozvitku i stanovlennia (1907-2007)* [The Golden Age of Makeyevsky Research Institute : history of creation, development and formation (1907-2007)]. Donetsk, PROMIN Publ., 2007, p. 62. (In Ukrainian)

7. Соколев, Г.Г. Горноспасатели / Г. Г. Соколев. – Москва : Недра, 1991. – С. 65–66.

Sobolev, G.G. *Gornospasateli* [Mountain rescuers]. Moscow, Nedra Publ., 1991, pp. 65-66. (In Russian)

8. Пашковский, П. С. Основные этапы развития отечественного респираторостроения / П. С. Пашковский, Г. Д. Галдобин, А. П. Снитко. – Донецк : Норд-Пресс, 2008. – С. 29–34.

Pashkovskiy P. S., Galdobin G. D., Snitko A. P. *Osnovnye etapy razvitiya otechestvennogo respiratorostroeniya* [The main stages of the development of the domestic respiratory industry]. Donetsk, Nord-Press Publ., 2008, pp. 29-34. (In Russian)

9. Ивонин, Н. Противогазы фильтрующие и изолирующие : одобрено Химическим управлением РККА в качестве учебного пособия / Н. Ивонин. – Москва ; Ленинград : отдел издательства Народного комиссариата обороны СССР, 1935. – С. 98.

Ivonin, N. *Protivogazy filtruyushchie i izoliruyushchie : odobreno Khimicheskim upravleniem RKKa v kachestve uchebnogo posobiya* [Filter and self-contained gas masks : approved by the Chemical Department of the Red Army as a teaching aid]. Moscow, Leningrad, otdel izdatel'stva Narodnogo komissariata oborony SSSR Publ., 1935, p. 98. (In Russian)

10. Наставление по организации и боевой работе газодымозащитной службы (ГДЗС) пожарной охраны НКВД. – Москва : Главное управление пожарной охраны НКВД СССР, 1945. – С. 5–9.

*Nastavlenie po organizatsii i boevoy rabote gazodymozashchitnoj sluzhby (GDZS) pozharnoj ohrany NKVD* [Manual on the organization and combat work of the gas and smoke protection service of the People's Commissariat of Internal Affairs fire department]. Moscow, Glavnoe upravlenie pozharnoy okhrany NKVD SSSR, 1945, pp. 5-9. (In Russian)

11. Селицкий, Г. Е. Газодымозащитное вооружение пожарных команд / Г. Е. Селицкий. – Москва ; Ленинград : Изд-во Наркомхоза РСФСР, 1945. – С. 4.

Selitskiy, G. E. *Gazodymozashchitnoe vooruzhenie pozharnykh komand* [Smoke-proof armament of fire brigades]. Moscow, Leningrad, Narkomhoz RSFSR Publ., 1945, pp. 5-9. (In Russian)

**Nikolai Georgievich Ranga**, inspector of the department of humanities; e-mail: [ranga71@mail.ru](mailto:ranga71@mail.ru)  
Federal State Treasury Educational Institution of Higher Education “Donetsk Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia”

283050, Donetsk, st. Rosa Luxemburg, 34A. Tel.: +7 (856) 332-17-01

**Andrey Petrovich Kiryan**, deputy chief; Ph.D. those. sciences; e-mail: [andrei-kiryan@mail.ru](mailto:andrei-kiryan@mail.ru)

Federal State Institution “Research Institute “Respirator” EMERCOM of Russia” 283048, Donetsk, st. Artema, 157. Tel.: +7 (856) 332-78-01

**Vitaly Leonidovich Efimenko**, associate professor of the department of service organization, fire and emergency rescue training; Ph.D. tech. sciences; e-mail: [vitale.2020@mail.ru](mailto:vitale.2020@mail.ru);

**Mikhail Sergeevich Khatsko**, head of the department of emergency rescue operations and equipment; e-mail: [kursantaczu@bk.ru](mailto:kursantaczu@bk.ru)

Federal State Treasury Educational Institution of Higher Education “Donetsk Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia”

283050, Donetsk, st. Rosa Luxemburg, 34A. Tel.: +7 (856) 332-17-01

## THE DEVICE OF S. I. FESENKO’S DESIGN: THE BEGINNING OF THE COUNTRY’S GAS AND SMOKE PROTECTION SERVICE

**Objective.** To investigate the background cause for creation the separate gas and smoke protection service within the fire service based on the choice of deployment of the domestic breathing apparatus designed by S. I. Fesenko and invented by Makeyevka Central Mining Rescue Station in the Donetsk region.

**Methods.** Comparative and typological investigation of deployment and application of the breathing apparatus designed by S. I. Fesenko by the fire service.

**Results.** The deployment of the self-contained breathing apparatuses by the fire service provided a basis for creation of the gas and smoke protection service and ensured the safe conditions for firemen’ work.

**Scientific novelty.** The special features of the breathing apparatus designed by S. I. Fesenko and its potential deployment by the fire service in the 30s of the XX century have been studied. The comparison of the first domestic breathing apparatuses deployed by the national fire brigades has been fulfilled. The timeframe of the new trend creation within the fire service, i.e. gas and smoke protection service, as well as the approval of the first scientific and technical guidelines on use and maintenance of the different types of breathing apparatuses have been established.

**Practical value.** The conducted research makes it possible to replenish the lost information on the breathing apparatus designed by S. I. Fesenko and its application in the fire service work in the 30s of the XX century. The review on the breathing apparatuses deployment by the fire brigades at the stage of the gas and smoke protection service creation has been fulfilled. The conducted research may be applied in the classes for students and cadets of the higher educational establishments of EMERCOM of Russia within the Gas and Smoke Protection Service and Emergency-Rescue Equipment course.

**Keywords:** *breathing apparatus designed by S. I. Fesenko; gas and smoke protection service; breathing apparatus; fire service; respirator; self-rescuer.*

**For citation.** Ranga N. G., Kiryan A. P., Efimenko V. L., Khatsko M. S. The device of S. I. Fesenko’s design: the beginning of the country’s gas and smoke protection service. *Nauchnyy vestnik NII “Respirator”*, 2024, no. 2(61), pp. 74-84. EDN TZBCXW.

**УДК 622.867:622.4**

*Андрей Викторович Ивахненко, инж. II кат.; e-mail: [andrey\\_ivahnenko@mail.ru](mailto:andrey_ivahnenko@mail.ru)*

*Федеральное государственное казенное учреждение*

*«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»*

*283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-34*

## **ВЕДЕНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР ШАХТНОГО ВОЗДУХА**

**Цель.** Обеспечение оптимальных параметров микроклимата шахтного воздуха и создание комфортных условий труда для подземных работников при повышенных температурах для снижения риска негативного теплового воздействия.

**Методы.** Анализ современных параметров контроля микроклимата на горнодобывающих предприятиях. Обзор эффективных схем проветривания выемочных участков и способов кондиционирования шахтного воздуха для нормализации температурного режима в горных выработках.

**Результат.** На основе проведенных исследований установлены дополнительные критерии оценки труда подземных работников для регулирования параметров микроклимата на рабочих местах и предложены мероприятия по искусственному кондиционированию шахтного воздуха.

**Научная новизна.** Предложены более эффективные схемы проветривания и способы нормализации микроклимата шахтного воздуха глубоких шахт Донбасса для обеспечения безопасных и комфортных условий труда.

**Практическая значимость.** На основании результатов исследований представлен единый подход к обеспечению оптимальных параметров микроклимата шахтного воздуха и созданию комфортных условий труда для снижения риска негативного теплового воздействия на подземных работников.

**Ключевые слова:** шахта; схема проветривания; температурный режим; горная выработка; тепловая нагрузка; микроклимат.

**Для цитирования:** Ивахненко А. В. Ведение горных работ в условиях повышенных температур шахтного воздуха // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 85–92. EDN QJVOSW.

**Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями.** Горнодобывающие предприятия Донецкого региона (шахты им. А. Ф. Засядько, А. А. Скочинского, М. И. Калинина и др.) сталкиваются с необходимостью проведения горных работ на глубинах, превышающих 1000 м. Как известно, увеличение глубины разработки приводит к повышению температуры воздуха в очистных и подготовительных выработках, оказывая дополнительную тепловую нагрузку на организм подземных работников. Такой температурный режим регламентируется требованиями нормативных документов, которые не всегда удается обеспечить, что, в свою очередь, негативно влияет на увеличение объемов добычи и безопасность условий труда.

Для повышения безопасности подземных работников необходимо установить эффективные критерии оценки труда для регулирования параметров микроклимата на рабочих местах и разработать мероприятия по снижению продолжительности воздействия тепловой нагрузки на организм человека.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Опыт работы на глубоких шахтах показывает, что улучшение параметров микроклимата и кондиционирование воздуха в шахтах положительно влияют на безопасность и производительность работников. Это позволяет снизить количество и риски несчастных случаев.

В работе [1] для количественной и комплексной оценки воздействия микроклимата использован расчет эффективной температуры для обеспечения наиболее действенного отвода тепла с поверхности тела работника. Также для оценки параметров микроклимата и регулирования температуры воздуха в глубоких шахтах следует уделить внимание горнотехническим методам. Наиболее реальные пути решения данной проблемы – обеспечение выемочных участков необходимым расходом воздуха по тепловому фактору и оборудование горных выработок системами кондиционирования воздуха.

**Цель работы** – обеспечение оптимальных параметров микроклимата шахтного воздуха и создание комфортных условий труда для подземных работников при повышенных температурах для снижения риска негативного теплового воздействия.

**Результаты исследований.** В Российской Федерации параметры микроклимата шахтного воздуха для горных предприятий регулируются федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности.

Зарубежные горные предприятия (Австралия, Германия, США и др.), осуществляющие добычу полезных ископаемых на больших глубинах и в условиях повышенных температур, соблюдают санитарные нормы микроклимата более эффективно и безопасно. Учитывают такие показатели, как время пребывания работника на рабочем месте, относительная физическая работоспособность, интенсивность труда, количество энергии, которая расходуется на выполнение работ, и др. [2].

В качестве комплексного показателя нормирования параметров микроклимата шахтного воздуха в Австралии используют индекс TWL, определяющий эффективность понижения температуры поверхности тела рабочего.

В таблице 1 приведены допустимые значения данного индекса и мероприятия по обеспечению безопасных условий работы в нагретом микроклимате для работников горного предприятия [3].

В таблице 2 приведены параметры микроклимата, установленные на предприятиях Германии [4].

На горнодобывающих предприятиях США тепловая нагрузка на рабочих определяется с помощью индекса WBGT [5]. Допустимая максимальная температура шахтного воздуха составляет +26,7 °С. Индекс WBGT – аналог используемого в Российской Федерации индекса тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс).

Таблица 1

Требования к параметрам микроклимата шахтного воздуха  
на горнодобывающих предприятиях Австралии

Индекс TWL, Вт/ м <sup>2</sup>	Режим работы подземного работника	Проводимые мероприятия
До 115 Вт/м <sup>2</sup> ( $t_{\text{возд}} \Rightarrow +32^{\circ}\text{C}$ )	Запрещающий	Обследование работников на обезвоживание организма в конце смены. Обеспечение рабочих питьевой водой в течение смены
115...140 Вт/м <sup>2</sup>	Остановочный	Ограничение времени работы в смене. Обеспечение проветривания рабочего места со скоростью воздуха более 1,0 м/с. Обследование работников на обезвоживание организма в конце смены
140...220 Вт/м	Оптимальный	Обеспечение рабочих питьевой водой в течение смены
Более 220 Вт/м	Неограниченный	Ограничения по работе не предъявляются

Таблица 2

Требования к параметрам микроклимата шахтного воздуха  
на горнодобывающих предприятиях Германии

Эффективная температура воздуха	Продолжительность рабочей смены, ч	Допустимое время работы, ч	Продолжительность перерыва, мин
+29 °C	8	5	10
+30 °C	8	5	20
	Выполнение работ допускается под наблюдением		
+32 °C	Запрещается выполнение работ		

Для определения класса условий труда (допустимый, вредный или опасный), в зависимости от воздействия вредных факторов на производстве, используются значения ТНС-индекса, который определяют по формуле из работы [6]

$$\text{ТНС} = 0,7T_{\text{терм}} + 0,3T_{\text{ш}},$$

где ТНС – индекс тепловой нагрузки среды на организм рабочего;

$T_{\text{терм}}$  – температура смоченного термометра аспирационного психрометра (совокупное влияние температуры, влажности и скорости движения воздуха), °C;

$T_{ш}$  – температура внутри зачерненного шара (температура воздуха и влияние теплового излучения от нагретых окружающих поверхностей), °С.

Исходя из этого, рассчитывают средневзвешенный ТНС-индекс за одну рабочую смену на  $i$ -м участке по формуле

$$ТНС_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n ТНС_i \tau_i}{\sum_{i=1}^n \tau_i},$$

где  $\tau_i$  – время нахождения рабочего на  $i$ -м участке рабочего места, ч.

Особенность такого подхода заключается в снижении ТНС-индекса за счет низкой относительной влажности воздуха, а при ее увеличении происходит увеличение температуры и, соответственно, значения ТНС-индекса.

С этой целью приняты различные значения относительной влажности (0, 50 и 100 %) и скорости вентиляционной струи при температуре + 26°С, что соответствует разным эффективным температурам (рис. 1).

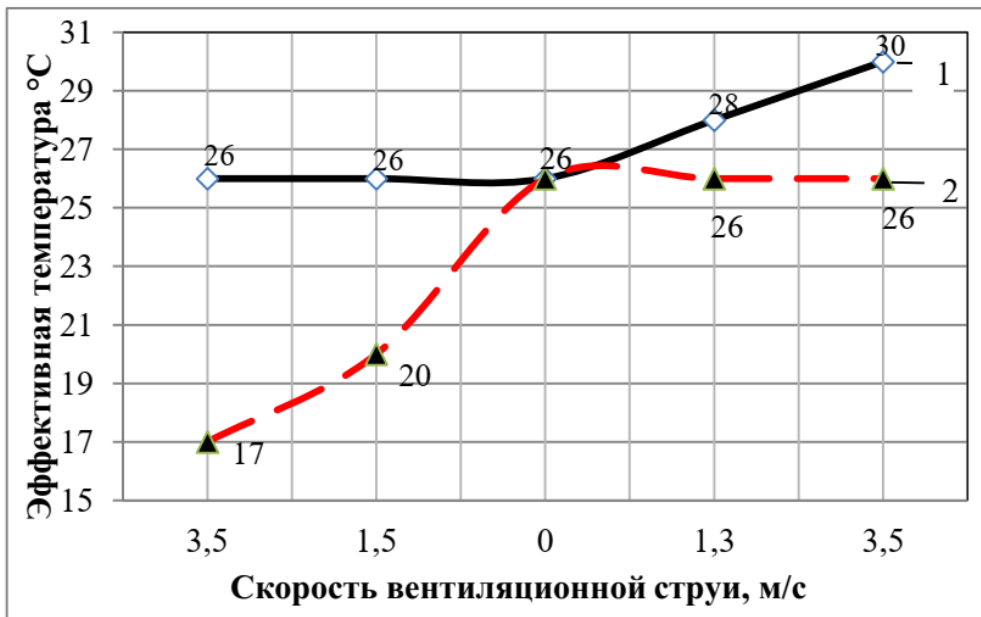


Рис. 1. Показатели эффективной температуры при изменении скорости и относительной влажности воздуха:

1 – фактическая температура воздуха; 2 – эффективная температура воздуха

Из рисунка 1 видно, что при увеличении скорости вентиляционной струи и снижении относительной влажности воздуха в горных выработках можно достичь эффективной температуры на рабочем месте, не применяя специальных мероприятий по ее снижению.

Среди перспективных способов снижения теплового воздействия на организм рабочего можно выделить следующее:

- поэтапное развитие горных предприятий с последовательным созданием новой сети выработок и эффективной вентиляцией;
- применение схем проветривания выемочных участков с обособленным разбавлением вредностей;
- сокращение пути движения свежего воздуха к очистным забоям, что позволит снизить дополнительный нагрев вентиляционной струи;
- увеличение скорости дополнительного расхода воздуха на выемочных участках до максимально допустимых значений.

Данные мероприятия очень трудоемкие и в современных условиях требуют значительных материальных вложений. С точки зрения формирования тепловых условий в выработках выемочного участка определенные преимущества имеет технологическая схема разработки угольных пластов с подсвежением вентиляционной струи из лавы, что способствует снижению температуры воздуха в вентиляционном штреке. Однако из-за наличия конвейерного транспорта и основного электрооборудования участка температура воздуха на поступающей вентиляционной струе в лавах при использовании данной схемы проветривания остается достаточно высокой.

В ходе проведенного анализа установлено, что к специальным горнотехническим мероприятиям относится использование нисходящего проветривания, которое с точки зрения тепловых условий характеризуется следующими преимуществами: исключается нагрев свежей вентиляционной струи от транспортируемого угля и электрооборудования на откаточном горизонте; свежая вентиляционная струя движется по более сухой выработке (вентиляционный штрек), в то время как откаточный штрек обычно характеризуется повышенной обводненностью, меньшей относительной влажностью воздуха в очистном забое, что также дополнительно снижает пылеобразование.

Практика применения таких схем проветривания показала, что тепловые условия более благоприятны в начале очистного забоя и по его длине.

Еще один действенный способ искусственного улучшения микроклимата в очистных и тупиковых забоях – применение передвижных шахтных кондиционеров типа КПШ (рис. 2).

Использование таких холодильных установок позволяет действительно регулировать тепловые условия труда в глубоких шахтах, где традиционные методы охлаждения неэффективны [7]. Применяют такие установки в непосредственной близости от места ведения горных работ, что повышает эффективность местного кондиционирования шахтного воздуха. Снижение тепловой нагрузки на организм человека в условиях шахт Донбасса может составлять 7...9 °С.

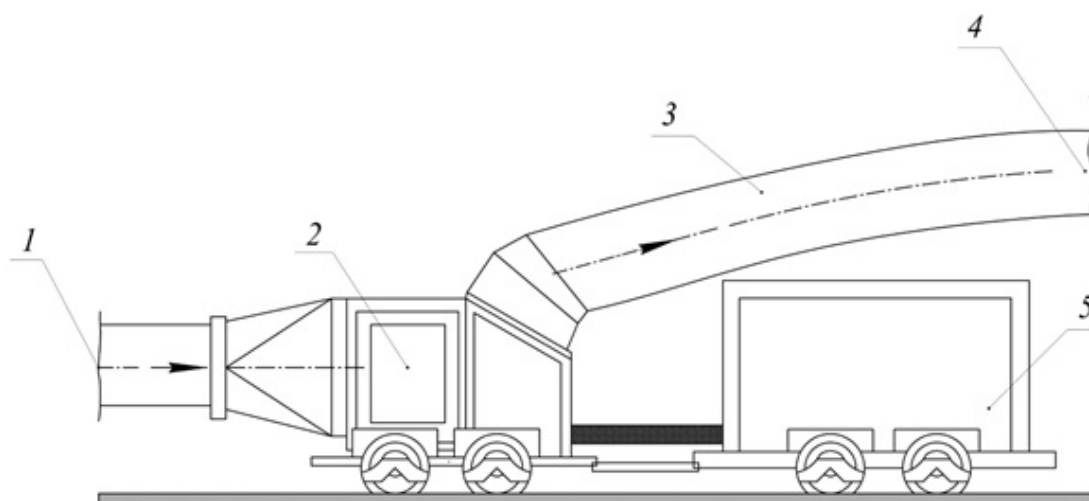


Рис. 2. Передвижной шахтный кондиционер КПШ:  
 1 – нагретый воздух; 2 – воздухоохладитель; 3 – отвод воздуха;  
 4 – охлажденный воздух; 5 – компрессорно-конденсаторный агрегат

Таким образом, для более эффективной нормализации микроклимата на рабочих местах рекомендуется комплексное применение схем проветривания и систем местного кондиционирования шахтного воздуха, а регулирование теплового режима шахтного воздуха должно иметь предельно допустимые значения.

**Выводы.** Для нормализации параметров микроклимата горных выработок необходимо учитывать особенности формирования тепловой нагрузки внутри рабочих зон. Применение эффективных схем проветривания выемочных участков, способствующих снижению тепловой нагрузки, в комплексе с холодильными установками для искусственного кондиционирования воздуха – ключевое решение для улучшения температурных условий шахт Донбасса, обеспечивающих безопасные и комфортные условия труда для подземных работников.

#### Список литературы / References

1. Зайцев, А. В. Исследование критериев нормирования микроклиматических условий в горных выработках / А. В. Зайцев, М. А. Семин, Ю. А. Ключкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 12. – С. 151–156.

Zaytsev, A. V., Semin, M. A. *Issledovanie kriteriev normirovaniya mikroklimaticeskikh usloviy v gornykh vyrabotkakh* [Research of criteria for microclimate conditions regulation in mine workings]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2015, no. 12, pp. 151-156. (In Russian)

2. Implementing a DIKW model on a deep mine cooling system / J. G. Pretorius, M. J. Mathews, P. Mare, M. Kleingeld, J. Rensburg // International Journal of Mining Science and Technology. – 2019. – Т. 29. – № 2. – С. 319–326.

3. Кондратьев, В. Б. Горная промышленность Австралии / В. Б. Кондратьев // Горная промышленность. – 2022. – № 1. – С. 91–102.

Kondratyev, V. B. *Gornaya promyshlennost Avstralii* [Mining industry of Australia]. *Gornaya promyshlennost*, 2022, no. 1, pp. 91-102. (In Russian)

4. Bergverordnung zum Schutz der Gesundheit gegen Klimateinwirkungen (Klima-Bergverordnung - KlimaBergV) Klima-Bergverordnung vom 9. Juni 1983 (BGBl. I S. 685), die durch Artikel 5 Absatz 2 der Verordnung vom 18. Oktober 2017 (BGBl. I S. 3584) geändert worden ist. Geändert durch Art. 5 Abs. 2 V v. 18.10.2017 I 3584.

5. Potential sources of heat in underground mines – a review / M. Tripti, K. Kailash, H. Vardhan, M. Aruna, M. G. Raj // Procedia Earth Planet Science. – 2015. – Т. 11. – С. 463–468.

6. Условия труда работающих. Влияние нагревающего микроклимата промышленных помещений на организм человека / В. С. Мушников, В. В. Вьюхин, В. И. Лихтенштейн, Л. Г. Турчанинов. – Екатеринбург : Уральский федеральный университет имени первого Президента России, 2020. – 22 с.

Mushnikov, V. S., Vyukhin, V. V., Likhtenshteyn, V. I., Turchaninov, L. G. *Usloviya truda robotayushchikh. Vliyanie nagrevayushchego mikroklimate promyshlennykh pomeshcheniy na organism cheloveka* [Work conditions of workers. Effect of industrial enterprises heating microclimate on human body]. Yekaterinburg, Uralskiy federalnyy universitet imeni pervogo Prezidenta Rossii Press, 2020, 22 p. (In Russian)

7. Алабьев, В. Р. Нормализация теплового режима протяженных тупиковых выработок при высоких температурах пород на основе шахтных передвижных кондиционеров / В. Р. Алабьев, В. В. Новиков, Л. А. Пашинян, Т. П. Бажина // Записки Горного института. – 2019. – Т. 237. – С. 251–258.

Alabyev, V. R., Novikov, V. V., Pashinyan, L. A., Bazhina, T. P. *Normalizatsiya teplovogo rezhima protyazhyonnykh tupikovykh vyrabotok pri vysokikh temperaturakh porod na osnove shakhtnykh peredvizhnykh konditsionerov* [Normalization of the thermal regime of extended dead-end workings at elevated temperatures based on mobile mine air conditioners]. *Zapiski Gornogo instituta*, 2019, vol. 237, pp. 251-258. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. Г. Агеевым  
Дата поступления рукописи 04.04.2024  
Дата опубликования 19.06.2024

*Andrey Viktorovich Ivakhnenko, engineer of the 2<sup>nd</sup> category; e-mail: [andrey\\_ivahnenko@mail.ru](mailto:andrey_ivahnenko@mail.ru)  
Federal State Institution “The Scientific Research Institute “Respirator” EMERCOM of Russia”  
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-34*

## CONDUCTION OF MINING WORKS IN CONDITIONS OF ELEVATED TEMPERATURES OF MINE AIR

**Objective.** Providing optimal microclimate parameters of the mine air and creation of the comfortable labour conditions for underground workers in conditions of elevated temperatures for alleviating risk of negative heat exposure.

**Methods.** Analysis of modern parameters of microclimate control over the mining enterprises. Review of the effective ventilation schemes for working areas and the mine air conditioning techniques for normalization of thermal regime in the mine workings.

**Results.** Based on the conducted research the additional criteria for assessing the underground workers' labor have been established for control over the microclimate parameters at the working places; the measures for controlled ventilation of the mine air have been proposed.

**Scientific novelty.** The more effective ventilation schemes and techniques for mine microclimate normalization in the deep mines of the Donets basin ensuring the safe and optimal labor conditions have been proposed.

**Practical value.** On the basis of the research results the unified approach to provision of the optimal microclimate parameters of the mine air has been proposed in order to alleviate the negative heat exposure for underground workers.

**Keywords:** *mine; ventilation scheme; thermal regime; mine working; heat load; microclimate.*

**For citation.** Ivakhnenko A. V. Conduction of mining works in conditions of elevated temperatures of mine air. *Nauchnyy vestnik NII “Respirator”*, 2024, no. 2(61), pp. 85-92. EDN QJVOSW.

### III. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

УДК 614.895.5-057.36

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

*e-mail: [a.dolzhenkov@80.mchs.gov.ru](mailto:a.dolzhenkov@80.mchs.gov.ru);*

*Татьяна Олеговна Мороз, нач. отд.; e-mail: [t.moroz@80.mchs.gov.ru](mailto:t.moroz@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*

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД ПРИ СОЗДАНИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ СПАСАТЕЛЕЙ

**Цель.** Обоснование подходов к комплексной оценке средств индивидуальной защиты спасателей в экстремальных условиях для улучшения противотепловой защиты пожарных.

**Методы.** При решении поставленных задач были использованы анализ, обобщение и систематизация материалов по оценке средств индивидуальной защиты спасателей в экстремальных условиях.

**Результаты.** Обоснованы подходы к комплексной оценке средств индивидуальной защиты спасателей в экстремальных условиях и зависимости теплового сопротивления и толщины пакета спецодежды от условий ликвидации пожаров и величины средневзвешенной толщины пакета спецодежды.

**Научная новизна.** Впервые построена регрессионная модель, описывающая зависимость между воздухопроницаемостью и поверхностной плотностью спецодежды спасателей, позволившая обосновать требования к его пододежному микроклимату.

**Практическая значимость.** Полученные результаты позволят повысить эффективность противотепловой защиты личного состава подразделений Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Российской Федерации, а также улучшить состояния здоровья спасателей, участвующих в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова:** экстремальные условия; опасные и вредные факторы; спасатели; комплексная оценка; специальная защитная одежда спасателей.

**Для цитирования:** Долженков А. Ф., Мороз Т. О. Комплексный подход при создании высокоэффективных средств индивидуальной защиты спасателей // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 93–102. EDN QSVEDC.

**Постановка проблемы.** По данным МЧС России, в 2023 г. на территории Российской Федерации произошло 350 тысяч пожаров, что на 1,5 % меньше, чем в 2022 г. Число погибших на пожарах составило 7,2 тысячи человек, это на 2 % меньше по сравнению с 2022 г. Более 26 тысяч человек были спасены службой МЧС России за год. Одна из основных причин улучшения сложившейся ситуации – применение эффективных средств индивидуальной защиты спасателей (далее – СИЗ). В данной статье нами проводились исследования показателей опасных факторов пожара, влияющих на защитные способности специальной защитной одежды спасателей (далее – СЗО). При проведении

спасательных операций в опасных зонах пожара на СЗО воздействует комплекс опасных факторов пожара, а именно: высокая температура, тепловое излучение, пламя, вода и агрессивная среда, в связи с чем совершенствование надежной защиты пожарного спецодеждой является актуальным вопросом.

**Анализ последних исследований.** Анализ нормативных документов показал, что установлены соответствующие требования к комплексу защитных показателей, которым должна соответствовать СЗО: теплофизическим показателям, физико-механическим параметрам, конструкции СЗО, маркировке, упаковке, условиям транспортировки и хранения.

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 53264–2019 «Одежда пожарного специальная защитная. Общие технические требования. Методы испытаний» к теплофизическим показателям относят: устойчивость к высоким температурам, стойкость к тепловому излучению, коэффициент теплоотдачи, стойкость к открытому огню, устойчивость к контакту с нагретыми твердыми поверхностями.

Физико-механические параметры включают: разрывную нагрузку, прочность швов, усадку после нагрева, устойчивость к многократному нагреву, морозостойкость, водонепроницаемость, стойкость к слабым кислотам и щелочам, стойкость к нефти и нефтепродуктам.

Эффективность защитных свойств оценивается по показателям надежности, индикатору эргономики, физиологическим и гигиеническим требованиям.

При улучшении теплозащитных свойств СЗО следует учитывать показатели термостойкости. В зависимости от области применения СЗО и источников высокотемпературных воздействий в процессе эксплуатации постоянно происходит термическая деструкция специального материала, что уменьшает срок его службы. Особенно при воздействии таких опасных факторов, как тепловое излучение, повышенная температура, действие открытым пламенем, контакт с твердыми нагретыми поверхностями.

Важный фактор обеспечения долговечности СЗО от действия высокоинтенсивных тепловых потоков – материал комбинезона, который характеризуется определенными теплофизическими характеристиками, определяющими продолжительность теплового потока от наружной поверхности к внутренней.

Экспериментально установлены основные характеристики и физико-химические показатели СЗО. В последнее время в связи с развитием информационных технологий стало возможным использование аналитического эксперимента для исследования параметров и характеристик спецодежды и параметров теплового режима. Это позволит прогнозировать изменение свойств специального материала и разрабатывать его новые конструкции.

**Цель работы** – обоснование подходов к комплексной оценке средств индивидуальной защиты спасателей в экстремальных условиях для улучшения противотепловой защиты пожарных.

**Результаты исследований.** Анализ методов определения теплозащитных свойств СЗО [1–3] позволил установить, что основной их недостаток – определение только одного показателя воздействия высокотемпературных факторов. Современные методы испытаний не приближены к реальным условиям эксплуатации, так как на СЗО действует одновременно несколько пожароопасных и других эксплуатационных факторов.

Жаростойкость СЗО зависит от стойкости ее материала к разрушению под воздействием высокоинтенсивного температурного потока. Термостойкой одеждой считается такая спецодежда, которая защищает пожарного от негативного воздействия тепловых потоков.

К неблагоприятным факторам, определяющим особенности применения СЗО, помимо воздействия высоких температур относится задымленная токсичными продуктами горения окружающая среда. Воздух с высоким содержанием пепла – одна из главных причин гибели гражданских лиц и спасателей на пожарах, поскольку смерть, как правило, наступает через пять минут при дыхании без надлежащей защиты. Даже при горении бытовой мебели в воздух поступает около ста ядовитых химических продуктов горения и угарный газ. Кислород же быстро выгорает. При пожарах на объектах химической, нефтехимической и газовой промышленности ситуация во много раз критичнее.

Воздействие экстремального теплового излучения характеризуется температурой окружающей среды, интенсивностью теплового потока источника огня, наличием открытого пламени и нагретых предметов. В данном случае применяется защитная одежда пожарного от повышенного теплового воздействия, надетая поверх боевой одежды пожарного.

Степень защиты спасателя зависит от теплопроводности специального материала СЗО, способности материала верха отражать тепловое излучение и его воспламеняемости. Достижение наименьшей теплопроводности как одного из основных защитных показателей защитной одежды от повышенного теплового воздействия обеспечивается с помощью специальных материалов и конструкций защитного костюма. Свойства защитной одежды тем эффективнее, чем ниже теплопроводность пакета из специального материала, изолирующего человека от окружающей среды. Однако следует учитывать, что накопление тепла в подкостюмном пространстве увеличивается прямо пропорционально времени, в течение которого человек находится в опасной зоне, и степени сложности выполнения задания.

Воздействие высокотемпературной внешней среды на слои СЗО характеризуется четырьмя стадиями:

- 1) поглощение тепла наружным приповерхностным или межфазным слоем и последующая передача энергии в материал каждого из четырех слоев;
- 2) нагрев материала каждого из четырех слоев без разрушения;

3) режим стационарной теплопроводности или изменение агрегатного состояния (плавление, испарение, сублимация или термическая деструкция, причем каждый из этих процессов может приводить к появлению или перераспределению механических напряжений и к полному или частичному разрушению слоя);

4) охлаждение (релаксация) материала после снятия внешней термической (высокотемпературной) нагрузки.

Каждая из стадий имеет свои физические характеристики, которые присущи только ей. Первая стадия характеризуется зависимостью температурного поля от начальных и граничных условий, то есть от интенсивности внешнего теплового потока и физических характеристик материала слоев комплекта СЗО, которые входят в граничные условия.

Вторая стадия имеет режим упорядоченного нагрева и, в частности, может характеризоваться регулярным режимом, который характеризуется монотонной зависимостью изменения температуры от времени. На этой стадии (как установлено экспериментально) температура  $T_o$  в любой точке слоя изменяется по формуле

$$T_o = C_s \exp(-\theta_s \tau) + T_c \text{ (охлаждение)}, \quad (1)$$

где  $C_s$  – произвольная константа, которую можно вычислить по начальным условиям;

$\theta_s$  – скорость нагрева – положительное число, не зависящее от координаты и времени;

$\tau$  – время, с;

$T_c$  – температура окружающей среды, К.

Скорость охлаждения определяют с помощью выражения  $\frac{\partial T}{\partial \tau} = -C_s \theta_s$ .

Аналогично формуле (1) определяют температуру нагрева  $T_n$

$$T_n = C_n \exp(\theta_s \tau) + T_c \text{ (теплота)}, \quad (2)$$

где  $C_n$  – константа, которую можно вычислить, используя начальные условия.

Поскольку  $\frac{\partial T}{\partial \tau} = C_n \theta_s$ , мы рассматриваем выражение  $C_n \theta_s$ .

Третья стадия, в случае целостности материала комплекта СЗО, – режим стационарной теплопроводности. В случае разрушения материала в конце второй стадии может произойти изменение его агрегатного состояния.

Последняя (четвертая) стадия характеризуется неравномерным изменением температуры слоя аналогично ходу событий на второй стадии. Все виды теплового воздействия на материалы СЗО можно разделить на следующие:

- действия, при которых материалы слоев комплекта СЗО проходят все четыре стадии последовательно без разрушения (одноцикловое действие);
- действия, при которых происходит частичное или полное разрушение материалов (полуцикл действия);
- многократные действия, не приводящие к разрушению материала (многоцикловое действие). В результате тепловых воздействий температурное поле пакета и среды между телом человека и пакетом может изменяться нелинейно во времени.

На рисунке 1 приведена схема прохождения тепла через комплект СЗО. Комплект СЗО состоит из четырех слоев. При пожаре начальная тепловая нагрузка мощностью  $q_{sc} = 7$  кВт/м<sup>2</sup> поглощается верхним металлизированным слоем (зона II) материалов СЗО. Металлизация практически не снижает температуру, действующую на защитный комбинезон, но отражает значительное количество теплового потока. Второй слой обеспечивает снижение температуры. Третий слой пакета используется в основном в качестве подложки и несет относительно небольшую тепловую нагрузку. Четвертый слой гасит остаточную тепловую нагрузку.

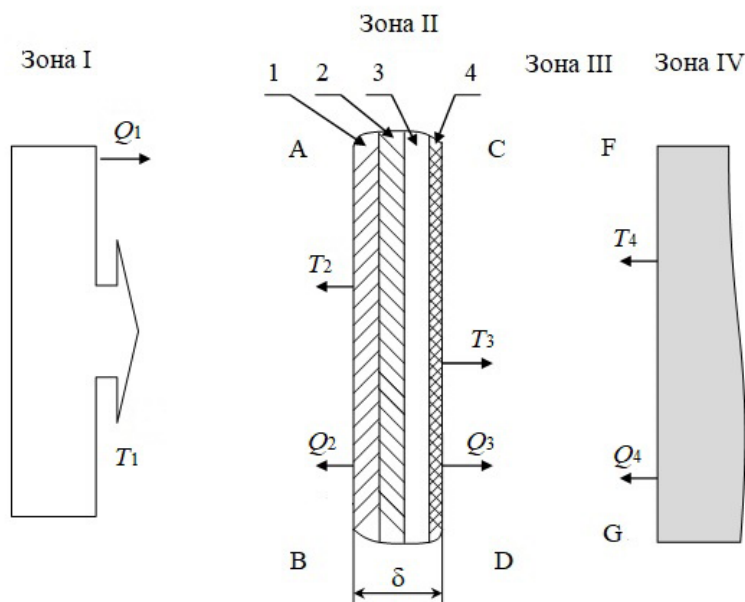


Рис. 1. Модель пакета специальной защитной одежды спасателя:  
 зона I – тепловое моделирование (ИК-излучение, конвекционное тепло);  
 зона II – комплект СЗО толщиной  $\delta$ ; зона III – воздушный зазор нижнего бельёвого пространства; зона IV – тело человека; А–В – наружная поверхность комбинезона;  
 С–D – внутренняя поверхность сумки; F–G – поверхность тела человека;  
 В–D – толщина пакета;  $Q_1$  – плотность теплового потока от поверхности теплоблока, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $Q_2$  – плотность теплового потока от наружной поверхности комплекта СЗО, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $Q_3$  – плотность теплового потока от внутренней поверхности комплекта СЗО, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $Q_4$  – плотность теплового потока от поверхности корпуса, Вт/м<sup>2</sup>;  $T_1$  – температура поверхности теплоблока, К;  $T_2$  – температура наружной поверхности комплекта СЗО, К;  $T_3$  – температура внутренней поверхности комплекта СЗО, К;  
 $T_4$  – температура поверхности корпуса, К

Предположим, что ось  $x$  перпендикулярна поверхностям пакета, и рассмотрим одномерную задачу теплопроводности, которая характеризует прохождение тепла через четыре слоя общей толщиной  $\delta$ , мм. Особенность задачи заключается в том, что прохождение тепла через комплект СЗО сопровождается прохождением вещества (массы частиц газа из внешней среды).

Поэтому воздушная среда (зазор) между пакетом и телом человека действует как ловушка для атомов некоторых газов. Это означает, что частицы материи (атомы, молекулы) попадают в этот зазор из внешней среды через пакет, но не покидают ее. Такая ситуация приводит к увеличению давления в воздушном зазоре между телом человека и комбинезоном. Прохождение молекул вещества (газа) через комплект СЗО может быть описано коэффициентами диффузии. Таким образом, воздействие высокотемпературной внешней среды на слои спецодежды характеризуется четырьмя стадиями:

- поглощение тепла наружным приповерхностным или межфазным слоем и последующая передача энергии в материал каждого из четырех слоев;
- нагрев материала каждого из четырех слоев без разрушения;
- режим стационарной теплопроводности или изменение агрегатного состояния (плавление, испарение, сублимация или термическая деструкция, причем каждый из этих процессов может приводить к появлению или перераспределению механических напряжений и к полному или частичному разрушению слоя);
- охлаждение (релаксация) материала после снятия внешней термической (высокотемпературной) нагрузки.

Как следует из анализа данных, приведенных в таблице, при проведении спасательных операций в опасных зонах пожара на организм спасателя помимо экстремальных температур и токсичных газов воздействуют механические и иные факторы, например обрушение строительных конструкций и падение предметов и материалов, взрывы емкостей, действие электрического тока и т.п. Поэтому одна из основных и наиболее часто встречающихся задач в оценке эффективности применяемых СИЗ – выбор изделия, максимально эффективно защищающего от комплекса опасных и вредных факторов, характерных для конкретных спасательных работ. Подобный выбор невозможен только на основе проведения дифференциальных оценок свойств СИЗ спасателей, поскольку они характеризуются различной величиной сопоставляемых показателей. Следовательно, при проведении подобной оценки необходимо учитывать соотношение показателей свойств, что возможно только при проведении комплексной оценки надежности СИЗ спасателей, проводимой по нескольким показателям, максимально характеризующим их защитные свойства. Комплексной оценке должен предшествовать анализ номенклатуры опасных и вредных факторов, оценка характера их воздействия на организм спасателя.

Таблица

Номенклатура опасных и вредных факторов, воздействие которых можно регулировать СИЗ спасателей, и характер их воздействия на организм

Номенклатура факторов	Характер воздействия
Температура повышения	задержка теплоотдачи
	тепловой поток
	открытое пламя
	твердые нагретые поверхности
Неблагоприятные микроклиматические условия	отрицательные температуры
	ветер
	осадки (намокаемость)
Агрессивные жидкости	слабые кислоты и щелочи
	нефть и нефтепродукты
	водомасляные эмульсии
	диэлектрические жидкости
Механические факторы	
удар	механическая энергия
трение	сила трения
давление	сила (интенсивность) давления
прокол	прокалывание
вибрация	колебательная скорость
Влажность	влагопоглощение
Газы	фильтрация
	коэффициент проскока
Пыль	концентрация пыли в воздухе
Напряжение электрического тока	пробивное электрическое напряжение
	электрическая прочность
	электризуемость
	диэлектрическая проницаемость
Статическое электричество	напряженность электростатического поля
Патогенные микроорганизмы	концентрация микроорганизмов на поверхности ткани

Высокие значения температур при тушении пожаров, высокая скорость движения воздуха и его влажность, а также напряженность и интенсивность труда нарушают тепловое равновесие между человеком и окружающей средой, что приводит к значительному перегреву организма. В связи с этим важной функцией спецодежды является обеспечение нормальной терморегуляции организма. На рисунке 2 представлена иерархия защитных свойств СИЗ спасателей, позволяющая детализировать последовательность проведения их комплексной оценки.

Уровни	Иерархия защитных свойств СИЗ спасателей					
4	Комплексная защита СИЗ спасателей					
3	Защита от общих и смешанных механизмов воздействия и от воздействия на отдельные анатомо-топографические зоны					
2	Защита от температурного фактора	Защита от механических факторов	Электрозащита, статическое электричество	Гигиенические свойства	Защита от газов и пыли (газопылепроницаемость)	Защита от биологических факторов
1	устойчивость к тепловому потоку, °С	механическая прочность материала ткани, Н	Электрическая прочность ткани, кВ/мм	Воздухопроницаемость, м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с)	Коэффициент проскока, %	микробная проницаемость, %
	устойчивость к открытому пламени, °С/т	стойкость к истиранию, циклы	диэлектрическая проницаемость, Ф/м	влагоддача, %		
	устойчивость при контактах с твердыми нагретыми поверхностями, °С/т	сопротивление сжатию, кПа	поверхностное электросопротивление, Ом	водоупорность, МПа	пылепроницаемость, г/см <sup>2</sup>	
		прочность швов, Н	электризуемость спецодежды, кВ/м			
	плотность электрического заряда на поверхности материала, Кл/см <sup>2</sup>					
	морозостойкость, циклы заморзания и оттаивания	изменение размеров стирки или химчистки, %	разрывная нагрузка, Н	водопроницаемость, мм водного столба		
		вибропоглощение, %				
		разрывающая нагрузка, Н				
		раздирающая нагрузка, Н				
	теплопроводность, Вт/(м·К)	стойкость к проколу, Н/см	стойкость к слабым кислотам и щелочам, разрывная нагрузка после обработки	маслостойкость, балл		
воздухопроницаемость, м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с)	стойкость к нефти и нефтепродуктам, балл, потеря прочности, %					

Рис. 2. Обоснование последовательности распределения защитных свойств СИЗ спасателей

**Выводы.** На основании проведенных исследований обоснованы зависимости теплового сопротивления и толщины комплекта СЗО от условий ликвидации пожаров и величины средневзвешенной толщины слоев спецодежды. Построена регрессионная модель, описывающая зависимость между воздухопроницаемостью и поверхностной плотностью спецодежды спасателей, позволившая обосновать требования к его пододежному микроклимату. Обоснованы подходы к комплексной оценке СИЗ спасателей в экстремальных условиях.

#### Список литературы / References

1. Влияние температурно-влажностного режима подкостюмного пространства на защитные свойства боевой одежды пожарного / Д. В. Сорокин, А. Л. Никифоров, И. Ю. Шарабанова, О. Г. Циркина // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России (Современные проблемы гражданской защиты). – 2018. – № 1(26). – С. 44–48.

Sorokin D. V., Nikiforov A. L., Sharabanova I. Y., Tsirkina O. G. *Vliyanie temperaturno-vlazhnostnogo rezhima podkostumnogo prostranstva boevoy odezhdy pozhnarnogo* [The influence of the temperature and humidity conditions of the undersuit space on the firefighters gear's protective properties]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii (Sovremennye problemy grazhdanskoy zashchity)*, 2018, № 1(26), pp. 44–48. (In Russian)

2. Сорокин, Д. В. Проектирование и исследование свойств теплозащитного композиционного текстильного материала для боевой одежды пожарного : специальность 05.19.01 «Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дмитрий Вячеславович Сорокин. – Кострома, 2021. – 20 с. – Место защиты: ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет».

Sorokin, D. V. *Proektirovanie i issledovanie svoystv teplozashchitnogo kompozitsionnogo tekstilnogo materiala dlya boevoy odezhdy pozhnarnogo* [Design and study of the properties of heat-protective composite textile material for firefighter's gear : 05.26.01 “Materials science of textile and light industry production” specialty : Candidate of Technical Sciences abstract of the dissertation / Dmitriy Vyacheslavovich Sorokin]. Kostroma, 2021. 20 p. Place of thesis defence : FGBOU VO “Kostromskoy gosudarstvennyy universitet”. (In Russian)

3. Галузо, Ю. А. Аспекты математических моделей теплового обмена с телом человека / Ю. А. Галузо, И. В. Черунова, И. В. Куренова // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8 (ч. 1). – С. 30–31.

Galuzo, Yu. A., Cherunova, I. V., Kurenova, I. V. *Aspekty matematicheskikh modelei teplovogo obmena s telom cheloveka* [Aspects of mathematical models of thermal exchange with human body]. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 2013, no. 8 (part 1), pp. 30-31. (In Russian)

4. Азгальдов, Г. Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии) / Г. Г. Азгальдов. – Москва : Экономика, 1982. – С. 256.

Azgal'dov, G. G. *Teoriya i praktika otsenki kachestva tovarov* [Theory and practice of assessing the good's quality (basics of qualimetry)]. Moscow, Economica Publ., 1982, 256 p. (In Russian)

5. Долженков, А. Ф. Модель многофакторного регрессионного анализа зависимости заболеваемости и травматизма от условий труда и применяемых средств индивидуальной защиты / А. Ф. Долженков // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сборник научных трудов. – Макеевка : МакНИИ, 2008. – Вып. 20. – С. 120–129.

Dolzhenkov, A. F. *Model mnogofaktornogo regressionnogo analiza zavisimosti zabolevaemosti i travmatizma ot usloviy truda i primenyaemykh sredstv individualnoy zashchity* [Multivariate regression analysis's model of the dependence of morbidity and injury on working conditions and the personal protective equipment]. Methods and means of creating safe and healthy working conditions in coalmines: a collection of scientific papers. Makeevka, MakNII, 2008, Issue 20, pp. 120-129. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. Г. Агеевым  
Дата поступления рукописи 16.04.2024  
Дата опубликования 19.06.2024

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

e-mail: [a.dolzhenkov@80.mchs.gov.ru](mailto:a.dolzhenkov@80.mchs.gov.ru);

Tatyana Olegovna Moroz, head of department; e-mail: [t.moroz@80.mchs.gov.ru](mailto:t.moroz@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

## COMPREHENSIVE APPROACH TO THE CREATION OF HIGHLY EFFECTIVE PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT OF RESCUERS

**Objective.** Substantiation of approaches to a comprehensive assessment of rescuers' personal protective equipment in extreme conditions to improve the thermal protection of firefighters.

**Methods.** Addressing the problem, the analysis, generalization and systematization of materials on assessment of rescuers' personal protective equipment in the extreme conditions were applied.

**Results.** The approaches to comprehensive assessment of rescuers' personal protective equipment in extreme conditions and the dependence of thermal resistance and thickness of the protective clothing package on the firefighting conditions and the weighted average thickness of the protective clothing package were substantiated.

**Scientific novelty.** For the first time a regression model to describe the relationship between breathability and surface density of rescuers' protective clothing justify the requirements for under clothes microclimate.

**Practical value.** The obtained results will increase the effectiveness of heat protection of unit personnel of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters and improve the health state of the rescuers participating in the elimination of consequences of the emergencies.

**Keywords:** *extreme conditions; hazardous and harmful factors; rescuers; comprehensive assessment; rescuers' special protective clothing.*

**For citation.** Dolzhenkov A. F., Moroz T. O. Comprehensive approach to the creation of highly effective personal protective equipment of rescuers. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 2(61), pp. 93-102. EDN QSVEDC.

**УДК 614.842.612**

*Виктория Валентиновна Лебедева, нач. отд.; e-mail: [v.lebedeva@80.mchs.gov.ru](mailto:v.lebedeva@80.mchs.gov.ru);*

*Максим Константинович Томилов, инж.; e-mail: [m.tomilov@80.mchs.gov.ru](mailto:m.tomilov@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*

## **ВЛИЯНИЕ АНТИПИРЕНОВ НА ПОВЫШЕНИЕ ОГNETУШАЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВОДЫ**

**Цель.** Установить аналитическую зависимость влияния антипиренов на повышение огнетушащей способности воды для выбора наиболее рациональных добавок-модификаторов.

**Методы.** Экспериментальный метод определения и оценки огнетушащей способности водных композиций в лабораторных условиях, корреляционный анализ и графический метод оформления результатов экспериментов.

**Результаты.** Разработана методика эксперимента и собрана лабораторная установка, с применением которой выполнены сравнительные исследования по оценке влияния жидкого натриевого стекла, карбамида, сульфата и фосфата калия, карбоната кальция, циануровой кислоты, диаммонийфосфата, сульфата железа (III)-аммония и буры на огнетушащую способность воды. Установлено, что наиболее эффективно способствуют тушению модельного очага горения водные композиции с содержанием жидкого натриевого стекла (10 %) и сульфата калия (5 %).

**Научная новизна.** Установлены аналитическая зависимость для оценки влияния содержания жидкого натриевого стекла на огнетушащую способность воды и рациональное соотношение жидкого стекла и сульфата калия в водной композиции.

**Практическая значимость.** Результаты исследования позволяют выбрать наиболее рациональные добавки-модификаторы к воде для повышения эффективности тушения пожаров класса А (твердые горючие материалы) и В (горючие жидкости). Разработанную экспериментальную методику и собранную лабораторную установку можно использовать для оценки эффективности тушения модельных очагов пожара водными композициями на этапе создания их рецептур.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность; водорастворимые добавки; жидкое стекло; ингибирующая способность добавок к воде; рецептура состава; сульфат калия; тушение пожаров класса А и В.

**Для цитирования:** Лебедева В. В., Томилов М. К. Влияние антипиренов на повышение огнетушащей способности воды // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 103–111. EDN PVMJQN.

**Постановка проблемы.** Решение вопросов пожаротушения предусматривает внедрение новейших технологий, применение современных экологически чистых, высокоэффективных огнетушащих веществ и средств их подачи в очаг пожара. В настоящее время в области пожаротушения широко используют тонкораспыленную воду, эффективность потока которой обусловлена высокой удельной поверхностью мелких частиц (среднеарифметический диаметр капель не более 150 мкм) и повышением охлаждающего эффекта за счет проникающего равномерного действия воды непосредственно на очаг горения и увеличения

теплосъема [1]. Однако у воды, как огнетушащего средства, существуют недостатки – плохая смачиваемость (коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma = 72,86 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup> при температуре 20 °С) и низкая вязкость (динамический коэффициент вязкости  $\mu = 8,9 \cdot 10^{-4}$  Па·с при температуре 25 °С), что обуславливает слабые адгезионные свойства воды и приводит к повышению ее расхода при ликвидации пожара. Для устранения отмеченных недостатков и повышения огнетушащей способности воды применяют химические добавки – модификаторы.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Доступная в научно-технической литературе информация [2–4] свидетельствует о перспективности применения химических реагентов для модификации физико-химических и огнетушащих свойств воды. Из работ [5–8] известно, что улучшенными параметрами тушения пожаров обладает вода при введении в ее состав более 50 % жидкого стекла (преимущественно 90...98 %). Вместе с тем, несмотря на большое число опубликованных результатов исследований различных ингибиторов горения, объем сведений об их огнетушащей способности невелик.

Анализ существующей научной проблемы определил **цель исследования** – установить аналитическую зависимость влияния антипиренов на повышение огнетушащей способности воды для выбора наиболее рациональных добавок-модификаторов.

**Методика эксперимента.** В качестве объекта исследования выбраны:

- жидкое натриевое стекло ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ , где  $n$  – силикатный модуль);
- карбамид ( $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ );
- сульфат калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ );
- фосфат калия ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ );
- карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ );
- циануровая кислота ( $\text{C}_3\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_3$ );
- диаммонийфосфат в форме удобрения ( $\text{H}_4\text{N}_2\text{PO}_4$ );
- сульфат железа (III)-аммония ( $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ );
- бура ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ).

Исследования проводили согласно разработанной методике, которая предусматривала эксперименты по тушению модельного очага горения водными композициями, содержащими 10...60 % жидкого стекла для установления его наиболее оптимального процентного содержания. Последующая серия экспериментов включала сравнительные исследования по определению и оценке огнетушащей способности антипиренов в композиции, содержащей оптимальное соотношение жидкого стекла и воды. Для этого в композицию вводили 5 % каждого из исследуемых антипиренов. Оценку огнетушащей способности композиций выполняли на лабораторной установке (рис. 1).

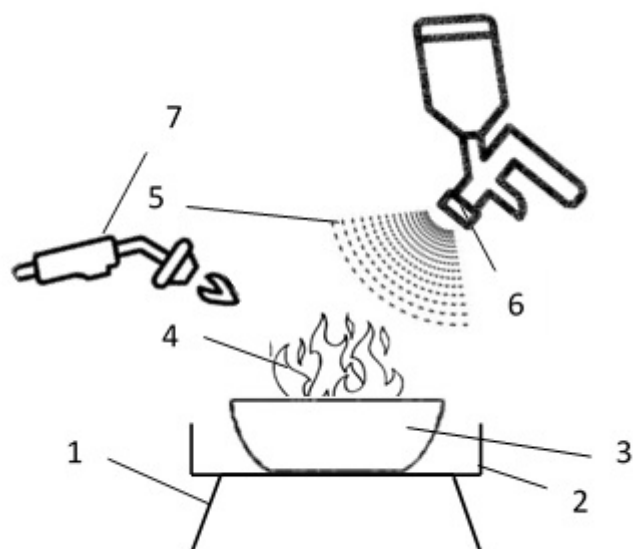


Рис. 1. Схема лабораторной установки для оценки огнетушащей способности водных композиций:

1 – подставка; 2 – поднос; 3 – емкость для бензина; 4 – пламя; 5 – распыленная вода с химической добавкой; 6 – мелкодисперсный распылитель; 7 – газовая горелка

Исследуемую композицию набирали в мелкодисперсный распылитель объемом 100 мл. На подставку с подносом устанавливали металлическую емкость диаметром 100 мм и высотой стенки 20 мм, в которую наливали 2 мл бензина и поджигали с помощью газовой горелки. Распылитель держали на расстоянии 200 мм от емкости и производили распыление композиции до полного тушения пламени, момент которого регистрировали визуально. В качестве горючего вещества использовали автомобильный бензин (рис. 2).



Рис. 2. Модельный очаг горения (момент проведения испытаний)

Количественным критерием оценки огнетушащей способности композиций выбрано количество их распылений, израсходованных на полное прекращение горения модельного очага. Дополнительно огнезащитную эффективность композиций оценивали сравнением с результатом тушения пламени технической водой без применения антипиренов, фиксируя количество распылений, затраченных на полное тушение пламени.

Результаты исследования позволили установить зависимость огнетушащей способности воды (количество распылений композиции, затраченных на полное тушение пламени)  $n$  от содержания в ней жидкого стекла  $m$ , %, в диапазоне концентраций 10...60 %.

Экспериментальные значения с высокой достоверностью (коэффициент корреляции  $r = 0,92$ ) аппроксимированы полиномиальной зависимостью третьего порядка (рис. 3).

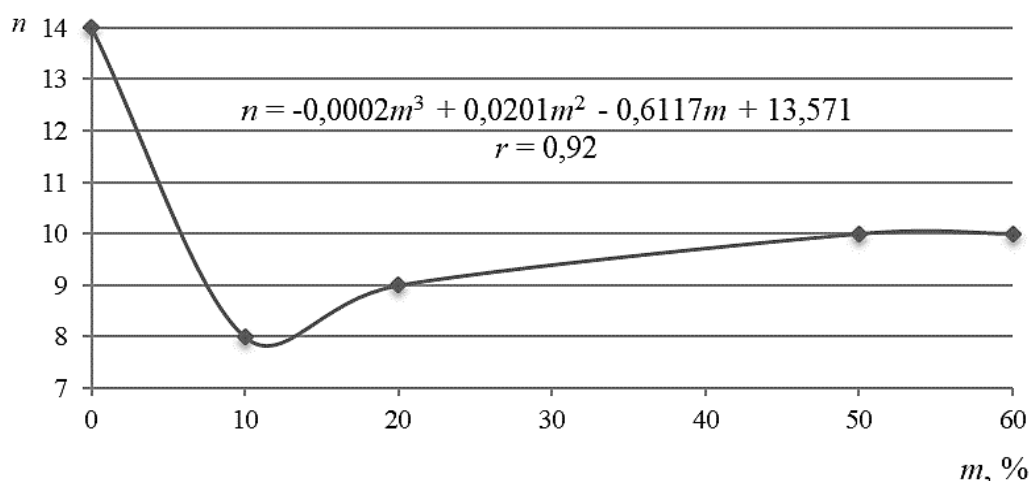


Рис. 3. Зависимость огнетушащей способности воды от содержания жидкого стекла

Установлено, что массовое содержание жидкого стекла в воде, при котором достигается наименьшее количество распылений (8 раз), следовательно, и повышение огнетушащей способности воды (в 1,8 раза по отношению к воде без добавок), составляет 10 %. Для выбора наиболее эффективного антипирена, повышающего огнетушащую способность воды, модифицированной 10 % жидкого стекла, были проведены сравнительные исследования (табл.).

Следует отметить, что среди исследованных антипиренов наиболее эффективное влияние на процесс тушения очага горения оказала добавка в композицию хорошо растворимого в воде сульфата калия за счет образования тонкой поверхностной пленки, препятствующей поступлению кислорода воздуха к очагу горения, и последующего затухания пламени. Эффективность тушения визуально отмечена уже на втором распылении композиции при тушении горящего бензина.

Таблица

Влияние антипиренов на огнетушащую способность воды,  
модифицированной 10 % жидкого стекла

№ композиции	Антипирен (содержание, %)	Номер эксперимента								Среднее значение	Примечание
		1	2	3	4	5	6	7	8		
		Количество распылений композиции, затраченных на полное тушение пламени									
1	Карбамид (5)	12	9	8	8	8	10	9	8	9	Растворяется в воде
2	Сульфат калия (5)	4	7	6	7	7	7	6	7	6	Образует пленку, происходит самозатухание пламени
3	Фосфат калия (5)	13	12	10	11	7	12	10	11	11	Слабо растворяется в воде
4	Циануровая кислота (5)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Пламя не гасит
5	Карбонат кальция (5)	5	9	11	8	12	7	11	9	9	Слабо растворяется в воде
6	Диаммоний-фосфат (удобрение) (5)	17	20	16	18	18	17	20	17	18	Слабо растворяется в воде
7	Сульфат железа (III)-аммония (5)	14	16	18	16	16	17	14	16	16	Слабо растворяется в воде
8	Бура (5)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Слабо растворяется в воде

Незначительный эффект тушения отмечен для карбамида и фосфата калия. Тушение очага горения композициями № 5, № 6 и № 8 происходило с задержкой в связи с недостаточным растворением в воде циануровой кислоты, карбоната кальция и сульфат железа (III)-аммония. Результаты исследования показали, что в качестве огнетушащей добавки диаммонийфосфат в форме удобрения не перспективен – водные композиции с жидким стеклом и диаммонийфосфатом пламя не гасят.

При использовании буры, как и для большинства солей борной кислоты, наблюдалось довольно слабое растворение в воде при комнатной температуре.

На основании результатов экспериментов построена гистограмма (рис. 4), позволяющая наглядно сравнить и оценить огнетушащую способность композиций на основе 10 %-го водного раствора жидкого стекла с добавками различных антипиренов, а также воды без добавок антипиренов.

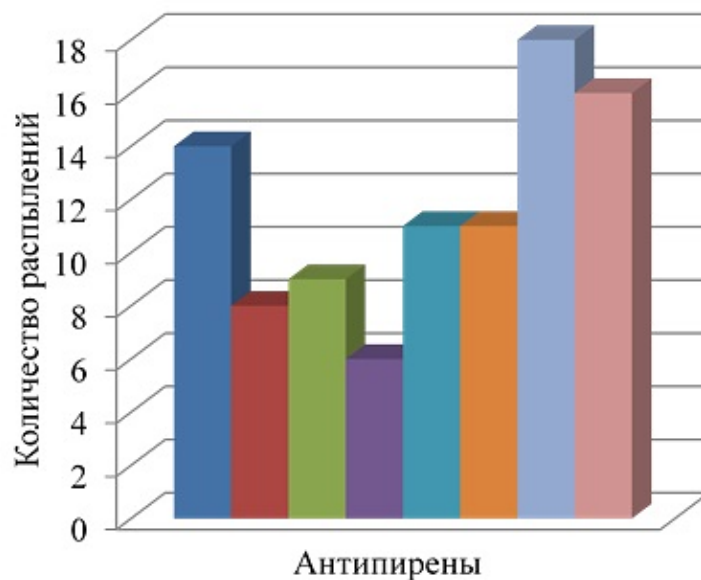


Рис. 4. Влияние антипиренов на повышение огнетушащей способности композиций

■ – техническая вода; ■ – жидкое стекло; ■ – карбамид; ■ – сульфат калия;  
 ■ – кальций углекислый; ■ – калий фосфорнокислый; ■ – диаммоний фосфат;  
 ■ – сульфат железа (III)-аммония

Как видно из гистограммы (рис. 4), введение 10 % жидкого стекла повысило огнетушащую способность воды в 1,8 раза, добавка 5 % сульфата калия – в 2,3 раза.

**Вывод и перспектива дальнейших исследований.** На основании результатов сравнительных исследований установлено, что водный раствор с концентрацией жидкого стекла 10 % и сульфата калия 5 % обладает огнетушащими свойствами, существенно превышающими огнетушащие характеристики воды без химических добавок.

Перспективное направление дальнейших исследований – оптимизация рецептуры композиции путем варьирования процентного содержания сульфата калия в диапазоне массовых концентраций 2...8 %.

#### Список литературы / References

1. Засыпка, П. А. Этапы развития системы автоматического пожаротушения тонкораспыленной водой. Зарубежный опыт / П. А. Засыпка // Теория и практика современной науки. – 2020. – № 2(56). – С. 78 – 81.

Zasyпка, P. A. *Etapy razvitiya sistemy avtomaticheskogo pozharotusheniya tonkoraspylyonnoy vodoy* [Stages of development of automatic water spray fire extinguishing system. International practices]. *Teoriya i praktika sovremennoy nauki*, 2020, no. 2(56), pp. 78-81. (In Russian)

2. Гуцев, Н. Д. Результаты разработки нового универсального огнетушащего состава со смачивающими, пенообразующими и антипиренными свойствами / Н. Д. Гуцев, Н. В. Михайлова, Н. А. Грабежева // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2017. – № 1. – С. 62 – 77.

Gutsev, N. D., Mikhaylova, N. V., Grabezheva, N. A. *Rezultaty razrabotki novogo universalnogo ogetushashchego sostava so smachivayushchimi, penoobrazuyushchimi i antipirennymi svoystvami* [Results of development of new universal fire-extinguishing composition with wetting, foaming and antipyrine capacities]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo insituta lesnogo khozyaystva*, 2017, no. 1, pp. 62-77. (In Russian)

3. Корольченко, Д. А. Оценка времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара в зданиях и сооружениях с учетом механизма тушения пламени веществами различной природы и степени дисперсности : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» : (по отраслям)» (технические науки) : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Корольченко Дмитрий Александрович. – Москва, 2022. – 391 с. – Место защиты: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

Korolchenko, D. A. *Otsenka vremeni blokirovaniya putey evakuatsii opasnymi faktorami pozhara v zdaniyakh i cooruzheniyakh s uchetom mekhanizma tusheniya plameni veshchestvami razlichnoyprirody i stepeni dispersnosti* [Estimation of the time of blocking evacuation routes by fire hazards in buildings and structures, taking into account the mechanism of extinguishing the flame with substances of various nature and degree of dispersion : 05.26.03 “Fire and Industrial Safety” (technical sciences) specialty : Candidate of Technical Sciences dissertation / Korolchenko Dmitriy Aleksandrovich]. Moscow, 2022, 391 p. Place of thesis defence: FGBOU VO “National Research University Moscow University of Civil Engineering”. (In Russian)

4. Жуйков, В. А. Анализ проблем повышения эффективности теплопереноса в создании новых огнетушащих составов / В. А. Жуйков, Н. Н. Старков, К. А. Руфанов // Военный инженер. – 2017. – № 2(4). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-problem-povysheniya-effektivnosti-teploperenosa-v-sozdanii-novykh-ognetushaschih-sostavov> (дата обращения: 15.03.2023).

Zhuykov, V. A., Starkov, N. N., Rufanov, K. A. *Analiz problem povysheniya effektivnosti teploperenosa v sozdanii novykh ogetushashchikh sostavov* [Analysis of problems of heat transfer effectiveness improvement in development of new fire-

extinguishing compositions]. *Voennuyu inzhener*, 2017, no. 2(4). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-problem-povysheniya-effektivnosti-teploperenosav-sozdanii-novykh-ognetushaschih-sostavov> (accessed: 15.03.2023).

5. Юркина, В. А. Анализ эффективности жидкофазных огнетушащих составов на основе жидкого стекла / В. А. Юркина, И. И. Романцов // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 5–6 ноября 2015 г. : в 2 т. – Томск : Изд-во ТПУ, 2015. – Т. 2. – С. 342 – 344.

Yurkina, V. A., Romantsov, I. I. *Analiz effektivnosti zhidkofaznykh ognetushashchikh sostavov na osnove zhidkogo stekla* [Analysis of effectiveness of sodium silicate solute-based liquid phase fire-extinguishing compositions]. *Ekologiya i bezopasnost v tekhnosfere : sovremennye problem i puti resheniya* : proceedings of the All-Russian young scientists, post-graduates and students scientific and practical conference, Yurga, November 5-6, 2015, in 2 volumes. Tomsk, TPU Press, vol. 2, pp. 342-344. (In Russian)

6. Селина, А. А. К вопросу применения огнетушащих составов на основе жидкого стекла при тушении лесного пожара / А. А. Селина; науч. рук. А. И. Сечин // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения академика К. И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина, Томск, 8–12 апреля 2019 г. : в 2 т. – Томск : Изд-во ТПУ, 2019. – Т. 1. – С. 630 – 632.

Selina, A. A., Sechin, A. I. (scientific ed.). *K voprosu primeneniya ognetushashchikh sostavov na osnove zhidkogo stekla pri tushenii lesnogo pozhara* [On the question of utilizing the sodium silicate solute-based fire-extinguishing compositions for extinguishing the forest fires]. *Problemy geologii i osvoeniya neдр* : the XXIII International M. A. Usov's symposium of students and young scientists dedicated to academician K. I. Satpaev's and professor K. V. Radugin's 120<sup>th</sup> anniversary in 2 volumes. Tomsk, TPU Press, 2019, vol. 1, pp. 630-632. (In Russian)

7. Анализ экологической перспективности огнетушащих составов на основе жидкого стекла / А. А. Селина, А. И. Сечин, И. И. Романцов, А. А. Сечин, Г. А. Лопатин // Современные проблемы машиностроения : сборник научных трудов XII Международной научно-технической конференции, г. Томск, 28 октября – 1 ноября 2019 г. – Томск : Изд-во ТПУ, 2019. – С. 321 – 323.

Selina, A. A., Sechin, A. I., Romantsov, I. I., Sechin, A. A., Lopatin, G. A. *Analiz ekologicheskoy perspektivnosti ognetushashchikh sostavov na osnove zhidkogo stekla* [Analysis of environmental sustainability of sodium silicate solute-based fire-extinguishing compositions]. *Sovremennye problemy mashinostroyeniya* : proceedings of the XII International scientific and technical conference, Tomsk, October, 28 – November, 1, 2019, Tomsk, TPU Press, 2019, pp. 321-323. (In Russian)

8. Павлов, М. М. Жидкофазные огнетушащие составы на основе жидкого стекла / М. М. Павлов, А. И. Янц // Инновационная наука. – 2017. – № 8. – С. 28 – 29.

Pavlov, M. M., Yants, A. I. *Zhidkofaznye ognetchashchie sostavy na osnove zhidkogo stekla* [Sodium silicate solute-based liquid phase fire-extinguishing compositions]. *Innovatsionnaya nauka*, 2017, no. 8, pp. 28-29. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым  
Дата поступления рукописи 11.01.2024  
Дата опубликования 19.06.2024

*Viktoria Valentinovna Lebedeva*, head of department; e-mail: [v.lebedeva@80.mchs.gov.ru](mailto:v.lebedeva@80.mchs.gov.ru);  
*Maksim Konstantinovich Tomilov*, engineer; e-mail: [m.tomilov@80.mchs.gov.ru](mailto:m.tomilov@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

## ANTIPIRINE EFFECT ON ENHANCEMENT FIRE-SUPPRESSING CAPACITIES OF WATER

**Objective.** To establish an analytical dependence of antipyrines effect on enhancement of fire-suppressing capacity of water in order to select the most rational modifying additives.

**Methods.** Experimental method of determination and assessment of fire-suppressing capacity of water compounds in laboratory-scale conditions, correlation analysis and graphic method of experiment results presentation.

**Results.** The methodology of the experiment has been elaborated and laboratory installation has been constructed and applied for the comparative studies on assessment of how sodium silicate solute, carbonyl diamide, potassium sulphate and phosphate, calcium carbonate, trihydroxycyanidine, diammonium phosphate, ammonium iron (III) sulfate and sodium tetraborate effect the fire-suppressing capacity of water. It has been established that the water compounds consisted of sodium silicate solute (10 %) and potassium sulphate (5 %) are the most effective in suppressing a fire in a model fire seat.

**Scientific novelty.** The analytical dependence for assessing the sodium silicate solute content effect on water capacity to suppress a fire and the optimal ratio of sodium silicate solute and potassium sulphate in a water compound have been established.

**Practical value.** The results of investigations make it possible to select the most rational modifying additives for water in order to improve the effectiveness of extinguishing the class A (solid combustible materials) and class B (flammable liquids) fires. The designed experimental methodology and constructed laboratory-scale installation may be applied for assessing the effectiveness of water-based compositions in extinguishing the model fire seats at the stage of developing the formula.

**Keywords:** *fire safety; water-soluble additives; sodium silicate solute; inhibitory capacity of water additives; composition formulae; potassium sulfate; extinguishing class A and B fires.*

**For citation.** Lebedeva V. V., Tomilov M. K. Antipyrine effect on enhancement fire-suppressing capacities of water. *Nauchnyy vestnik NII “Respirator”*, 2024, no. 2(61), pp. 103-111. EDN PVMJQN.

**УДК 622.273**

*Александр Павлович Гарбузов, заместитель директора; e-mail: [donugi2009@mail.ru](mailto:donugi2009@mail.ru);*

*Леонид Николаевич Капран, зав. лабораторией; e-mail: [respirator@mail.dnmchs.ru](mailto:respirator@mail.dnmchs.ru);*

*Вячеслав Никитович Кирин, ст. науч. сотр.; e-mail: [kirin\\_v48@mail.ru](mailto:kirin_v48@mail.ru);*

*Адель Александровна Федористова, ведущий конструктор;*

*e-mail: [niirespirator.vestnik@mail.ru](mailto:niirespirator.vestnik@mail.ru)*

*Государственное бюджетное учреждение*

*«Донецкий научно-исследовательский угольный институт»*

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

## **АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ШАХТАХ ДНР**

**Цель.** Исследования состояния горных выработок для получения дополнительной информации по их устойчивости и определения направления совершенствования конструкций крепи.

**Методы.** Используется комплексный метод исследований, включающий аналитический и статистический методы.

**Результаты.** Результаты исследования позволяют установить, что одно из направлений повышения устойчивости горных выработок – совершенствование конструкций элементов крепи, позволяющих улучшить их рабочие характеристики.

**Научная новизна.** Получение дополнительной информации по вопросу состояния горных выработок, которая будет применена в дальнейших научных исследованиях по повышению устойчивости горных выработок.

**Практическая значимость.** Результаты исследования состояния горных выработок могут быть использованы в дальнейших научных исследованиях по улучшению состояния горных выработок.

**Ключевые слова:** *устойчивость горных выработок; арочная крепь; несущая способность; горное давление; рабочее сопротивление; замковое соединение; смещения пород.*

**Для цитирования:** *Гарбузов А. П., Капран Л. Н., Кирин В. Н., Федористова А. А. Анализ и обобщение состояния горных выработок на шахтах ДНР // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 112–119. EDN SWWMWL.*

**Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями.** С увеличением глубины разработки угольных пластов усложняются горно-геологические условия, ухудшается состояние горных выработок, увеличиваются затраты на их проведение и поддержание. Существующие конструкции крепи не в полной мере обеспечивают эксплуатационное состояние горных выработок. Таким образом, совершенствование конструктивных решений крепи, направленных на повышение устойчивости горных выработок, является актуальным и востребованным.

**Цель работы** – исследования состояния горных выработок для получения дополнительной информации по их устойчивости и определения направления совершенствования конструкций крепи.

**Результаты исследования.** Эффективная работа угольного предприятия невозможна без надежного обеспечения устойчивости подготовительных выработок.

Устойчивость горного объекта – это способность горного объекта функционировать с заданными параметрами в определенных условиях в течение требуемого отрезка времени [1]. Из этого следует, что устойчивость горной выработки это ее способность сохранять форму и размеры поперечного сечения, заданные по условиям эксплуатации.

Требования к обеспечению рабочего состояния поперечного сечения горной выработки предусмотрены и в нормативных документах: п. 56 «Правил безопасности в угольных шахтах» (утв. приказом Ростехнадзора от 08.12.2020 № 507); п. 86 «Правил безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (утв. приказом Ростехнадзора от 08.12.2020 № 505).

Как показывает практика ведения горных работ, основные факторы, влияющие на устойчивость горных выработок, – горно-геологические условия, глубина разработки угольных пластов, прочность вмещающих пород, тип крепи, сечение выработки, способ ее проведения и др.

В настоящее время на угольных предприятиях ДНР в качестве материала для крепей горных выработок используют металл, железобетон, дерево и др. (табл. 1).

Таблица 1

Проведение подготовительных выработок на угольных предприятиях ДНР

	2021 г.		2022 г.		2023 г.	
	п.м.	%	п.м.	%	п.м.	%
Пройдено горных выработок, п.м., в том числе:	13 768 п.м.		4318 п.м.		3232 п.м.	
Комбайном	4678	35	1408	33	1001	30
БВР	7393	55	2213	52	2013	60
Вручную (ОМ)	1697	10	691	15	218	10
Тип крепи:						
КМП-А3-9,2	394	3	179	5	–	–
КМП-А3-11,2	2214	17	649	15	723	23
КМП-А3-13,8	8795	65	2563	60	1824	57
КМП-А3-15,5	592	4	787	17	413	12
КМП-А5-18,3	631	5	95	2	67	2
Дерево	652	6	45	1	205	6
в том числе КШПУ-15,5 (шахта «Комсомолец Донбасса»)	490	3	313	7	298	9

Наибольшее распространение для крепления горных выработок получили металлические рамные податливые крепи КМП-А3, КМП-А5, КШПУ и др., разработанные ГБУ «ДОНУГИ» [2]. Ими закреплено около 90 % общей протяженности горных выработок.

С целью обеспечения безопасных условий эксплуатации выработок 80 % креплений имеют сечение от 13,8 м<sup>2</sup> и более.

Металлические рамные податливые крепи с замком АПЗ.030 обеспечивают рабочее сопротивление до 300 кН и конструктивную податливость 500 мм и выше. При условии правильного выбора, основанного на инженерных расчетах сдвижения массива, смещений пород в выработке и нагрузок на крепь, металлические рамные крепи дают возможность поддерживать выработки в рабочем состоянии длительное время.

В зависимости от горно-геологических условий, назначения, площади поперечного сечения и срока службы выработок, определяют способ их проведения. Основные способы проведения горных выработок на угольных шахтах ДНР – комбайновый и буровзрывной.

Буровзрывной способ возможно применять при любых горно-геологических и горнотехнических условиях, поэтому около 60 % горных выработок проводится этим способом. Вместе с тем, как показывает практика, при проведении выработок буровзрывным способом в результате взрывных работ повышается трещиноватость боковых пород, не выдерживается сечение контура выработки, что в дальнейшем отрицательно сказывается на ее устойчивости.

Комбайновым способом проводится около 30 % выработок. По сравнению с буровзрывным способом он обеспечивает наибольшую скорость проведения выработок, образование трещин в породном массиве ниже, чем при взрывных работах за счет того, что выемка горной массы в забое механизирована. При этом технологическая величина перебора вмещающих пород за сечением проводимой выработки не превышает 0,2 м. Таким образом обеспечивается более плотный контакт между крепью и массивом и крепь работает в необходимом режиме. Это благоприятно влияет на условия устойчивости выработки. В то же время, несмотря на то, что при комбайновом способе более эффективно обеспечивается устойчивость выработок, область применения большей части проходческих комбайнов ограничена прочностью вмещающих пород до 40...60 МПа.

В сложных горно-геологических условиях, когда невозможно применять другие, более эффективные, средства механизации, при малом сроке службы выработки, незначительном горном давлении и небольшом сечении применяется ручной способ проведения горных выработок [3]. На угольных

предприятиях ДНР на его долю приходится около 10 % всех проводимых выработок.

С переходом горных работ на глубокие горизонты заметнее прослеживается тенденция снижения устойчивости подготовительных выработок, особенно при столбовой системе разработки. Чаще в период подготовки выемочного столба деформации контура превышают допустимые пределы [4].

Вместе с тем в настоящее время около 30 % угольных предприятий ДНР ведут горные работы на глубине 1000 м и более. В связи с этим, вследствие увеличения смещения вмещающих пород под воздействием горного давления, подготовительные выработки подвергаются значительным деформациям. Для улучшения состояния горных выработок на шахтах ГУП ДНР: «ДУЭК» Филиал «Шахта им. А. А. Скочинского»; «Горезантрацит» Филиал «Шахта «Заря»; «Шахта им. А. Ф. Засядько»; Филиал № 2 «Ш/у Донбасс» ООО «ДМЗ», при проведении выработок увеличили плотность установки крепи до 2 рам/м. Однако, как показывают результаты аналитических исследований состояния горных выработок на 13 угольных предприятиях ДНР, несмотря на принимаемые меры, процент выработок, не соответствующих требованиям нормативных документов по охране труда, остается на уровне 13,5 %, а выработок с неудовлетворительным профилем рельсового пути – на уровне 40,3 %. В среднем правилам безопасности по сечению не соответствуют 7,4 %, общей протяженности действующих выработок, а по зазорам 5,0 % (табл. 2). На шахтах «Шахта им. А. А. Скочинского», № 22 «Коммунарская», «Щегловская-Глубокая», «Калиновская-Восточная», «Холодная Балка» эти показатели значительно выше.

Поэтому актуален вопрос повышения устойчивости горных выработок и снижения трудоемкости на их поддержание с использованием дополнительных средств, обеспечивающих устойчивую рабочую характеристику крепи.

Направления улучшения состояния горных выработок, повышения их устойчивости следующие: совершенствование технологических процессов горно-подготовительных работ; конструирование, модернизация металлической податливой крепи и ее элементов, позволяющих повысить устойчивость выработок, улучшить экономические показатели при их проведении и поддержании [5].



Окончание таблицы 2

Наименование угольного предприятия	Протяженность на нач. периода	закреплено						действующих							
		рам. мет. крепью	анк. крепью	сборн ж/б крепью	дерево м	др. вида-ми	всего	из них не соответствующих ПБ		прот. с выр. с элек. отк.	из них не соотв. профилю пути				
								по сече-нию	по вы-соте		по разо-рам	м	м	м	%
ГУП ДНР «Шахта им. А. Ф. Засядько»	128225	106156	–	–	–	22069	108582	2553	1415	4110	8078	7,4	9118	4454	48,8
ГУП ДНР «Шахта «Комсомолец Донбасса»	186849	170100	827	7259	491	8172	176053	4930	3110	5440	13480	7,6	28412	10060	35,4
Филиал № 2 «Ш/У Донбасс» ООО «ДМЗ»															
Шахта «Щегловская-Глубокая»	59904	50584	–	613	201	8506	52880	13724	1420	2060	17204	32,5	11632	6493	55,8
Шахта № 22 «Коммунарская»	51912	49656	–	97	860	1299	39318	11098	240	1837	13175	33,5	17158	10629	61,9
<b>Всего по предприятиям</b>	<b>936822</b>	<b>8306428</b> 8,6%	<b>9620,1</b> %	<b>24213</b> 2,6%	<b>3517</b> 0,5%	<b>77488</b> 8,2%	<b>709090</b>	<b>527377,4</b> %	<b>8077</b> 1,1%	<b>353055,0</b> %	<b>96119</b> 13,5		<b>113485</b> 40,3	<b>45734</b>	

**Выводы.** Несмотря на усовершенствование технологий проведения горных выработок, применение металлических податливых крепей большого сечения, увеличение плотности установки крепи, устойчивость горных выработок обеспечивается не в полной мере. Удельный объем действующих выработок, не соответствующих требованиям ПБ, остается на уровне 13,5 %, выработок с неудовлетворительным профилем рельсового пути – на уровне 40,3 %.

Поэтому совершенствование конструктивных решений крепи и ее элементов, направленных на повышение устойчивости горных выработок при отработке угольных пластов, применение дополнительных средств для увеличения рабочего сопротивления арочной крепи при проведении и поддержании горных выработок является актуальным и востребованным.

#### Список литературы / References

1. Горная энциклопедия. – Москва : Советская энциклопедия, 1991. – Т. 5. – С. 277.

*Gornaya entsiklopediya* [The Mining Encyclopedia]. Moscow, Soviet encyclopaedia Publ., 1991, vol. 5, p. 277. (In Russian)

2. Каретников, В. Н. Крепление капитальных и подготовительных горных выработок / В. Н. Каретников. – Москва : НЕДРА, 1989. – 572 с.

Karetnikov, V. N. *Kreplenie kapitalnykh i podgotovitelnykh gornykh vyработok* [Fixing of capital and preparatory mining operations]. Moscow, NEDRA Publ., 1989, 572 p. (In Russian)

3. Бокий, В. В. Проведение и крепление горных выработок / В. В. Бокий. – Москва : Госгортехиздат, 1963. – 558 с.

Bokiy, V. V. *Provedeniye i krepleniye gornykh vyработok* [Carrying out and fixing of mining operations]. Moscow, Gosgortekhizdat Publ., 1963, 558 p. (In Russian)

4. Курченко, Э. П. Крепление пластовых подготовительных выработок глубоких шахт / Э. П. Курченко // Уголь Украины. – 2007. – № 4. – С. 10–16.

Kurchenko E. P. *Krepleniye plastovykh podgotovitelnykh vyработok glubokikh shakht* [Fastening of formation preparatory workings of deep mines]. *Ugol Ukrainy*, 2007, no. 4, pp. 10-16. (In Russian)

5. Якоби, О. Практика управления горным давлением / О. Якоби ; Пер. с нем. – Москва : НЕДРА, 1987. – 566 с.

Jacoby, O. *Practika upravleniya gornym davleniem* [Practice of control by mountain pressure]. Moscow, 1987, 566 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук А. В. Мавроди  
Дата поступления рукописи 22.05.2024  
Дата опубликования 19.06.2024

*Aleksandr Pavlovich Garbuzov* deputy of director GBU «DONUGI»; e-mail: [donugi2009@mail.ru](mailto:donugi2009@mail.ru);

*Leonid Nikolayevich Kapran*, head of laboratory; e-mail: [respirator@mail.dnmchs.ru](mailto:respirator@mail.dnmchs.ru);

*Vyacheslav Nikitovich Kirin*, senior scientific associate; e-mail: [kirin\\_v48@mail.ru](mailto:kirin_v48@mail.ru);

*Adel Aleksandrovna Fedoristova*, principle designer; e-mail: [niirespirator.vestnik@mail.ru](mailto:niirespirator.vestnik@mail.ru)

State Budget Institution “Donetsk Scientific Research Coal Institute  
283048, Donetsk, 114, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (949) 356-97-25

## ANALYSIS AND GENERALIZATION OF THE STATE OF MOUNTAIN MAKING ON THE DNR MINES

**Objective.** To conduct analytical researches of the state of the mountain making for to receives of additional information on their stability and fasten determinations of direction of perfection of constructions.

**Methods.** The complex method of researches, including analytical and statistical methods, is used.

**Results.** The results of the executed analysis allow to set that one of directions of increase of stability of the mountain making is perfection of constructions of elements fasten, allowing to improve their working descriptions.

**Scientific novelty.** Receipt of additional information through question of the state of the mountain making, which will be applied in further scientific researches on the increase of stability of the mountain making.

**Practical value.** Can be drawn on results of analysis of the state of the mountain making in further scientific researches on the improvement of the state of the mountain making.

**Keywords:** *stability of mountain making, arched fastening, bearing ability, mountain pressure, working resistance, connection by a lock, displacements of breeds.*

**For citation.** Garbuzov A. P., Kapran L. N., Kirin V. N., Fedoristova A. A. Analysis and generalization of the state of mountain making on the DNR mines. *Nauchnyy vestnik NII “Respirator”*, 2024, no. 2(61), pp. 112-119. EDN SWWMWL.

УДК [614.841.332:699.812.3]:620.193.23

*Виктория Валентиновна Лебедева, нач. отд.; e-mail: [v.lebedeva@80.mchs.gov.ru](mailto:v.lebedeva@80.mchs.gov.ru);  
Олег Владимирович Храпоненко, науч. сотр.; e-mail: [o.hraponenko@80.mchs.gov.ru](mailto: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*

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОГНЕЗАЩИЩЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЛАЖНОСТИ

**Цель.** Выполнить экспериментальные исследования по оценке влияния влажности на огнезащитную эффективность состава для поверхностной пропитки древесины.

**Методы.** Определение поглощения паров воды образцами проводили гравиметрическим методом, группы огнезащитной эффективности – стандартным методом «керамическая труба».

**Результаты.** Определен коэффициент влагопоглощения разработанного пропиточного состава (I) и экспериментально подтверждена его огнезащитная эффективность после воздействия влаги – средняя потеря массы в результате огневых испытаний составила 10 %. На основании экспериментальных данных построены кинетические кривые поглощения влаги и установлены зависимости изменения влагопоглощения пропиточного состава (I) и «Негорин ПРО», а также образца древесины без огнезащиты от времени их насыщения парами воды в закрытых эксикаторах с относительной влажностью 100 %. Кинетические кривые аппроксимированы полиномиальными зависимостями второго порядка с коэффициентом корреляции  $r = 0,88...0,98$ .

**Научная новизна.** Впервые установлена аналитическая зависимость, описывающая влияние влажности на огнезащитные свойства разработанного пропиточного состава для древесины.

**Практическая значимость.** Результаты исследований показали, что использованная методика испытаний может быть применима для определения гидрофильности и огнестойкости пропитки для деревянных конструкций при оценке ее устойчивости к воздействию природных факторов среды.

**Ключевые слова:** антипирен; пожарная безопасность; коэффициент влагопоглощения; огнезащита древесины; потеря массы; пропиточный состав; группа огнезащитной эффективности.

**Для цитирования:** Лебедева В. В., Храпоненко О. В. Оценка устойчивости огнезащитной древесины к воздействию влажности // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 120–128. EDN PICIBQ.

**Постановка проблемы.** Главный недостаток древесины, как строительного ресурса, – повышенная пожароопасность, то есть способность воспламениться под действием источника зажигания, распространять пламя по поверхности и поддерживать пламенное горение. Наиболее предпочтительный способ снижения горючести древесины – ее обработка антипиренами (органические и неорганические соединения, водный раствор которых имеет свойство впитываться под действием капиллярных сил и препятствовать воспламенению и дальнейшему горению древесины [1]). Огнезащитные пропитки должны обеспечивать снижение пожароопасных характеристик древесины и сохранность ее эксплуатационных свойств, таких как устойчивость к длительному воздействию влаги, переменному воздействию температуры

и влажности и др. [2]. Актуальность указанной проблемы обусловлена современными требованиями к качеству огнезащиты, прежде всего сохранению огнезащитных свойств древесины в период эксплуатации. Решение такой научно-практической задачи требует проведения экспериментальных исследований по оценке влияния влажности на огнезащитные свойства пропиточных составов, содержащих водорастворимые компоненты.

**Анализ последних исследований.** Как показал проведенный анализ, к одному из наиболее надежных способов огнезащиты древесины относится глубокая пропитка древесины антипиренами, которая способна обеспечивать первую группу огнезащитной эффективности [3]. Однако глубокая пропитка может негативно сказаться на прочностных характеристиках нагруженных деревянных конструкций [4]. Авторы работы [5] выполнили исследования долговечности и стабильности ряда свойств твердых и хвойных пород древесины после термической модификации в растительных маслах и в атмосфере пара. Результаты исследований [6] выявили высокие корреляции между значениями плотности, потерей веса и содержанием влаги древесины и интенсивностью сушки материала. Актуальности исследования пожароопасных свойств древесины посвящена работа [7]. Вместе с тем научное обоснование влияния влажности на огнезащитные свойства древесины, пропитанной огнезащитными составами, недостаточно исследовано.

**Цель исследования** – выполнить экспериментальные исследования по оценке влияния влажности на огнезащитную эффективность пропиточного состава для поверхностной обработки древесины.

**Методы исследования.** Метод определения огнезащитной эффективности, изготовление и подготовка экспериментальных образцов к испытаниям соответствовали требованиям ГОСТ 16363–98 «Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств». Для исследований готовили экспериментальные образцы, обработанные пропиточным составом (I), и контрольные незащищенные образцы древесины сосны. В качестве образца для сравнения использовали сертифицированный огнебиозащитный состав для пропитки древесины и материалов на ее основе «Негорин ПРО». Образцы древесины обрабатывали пропиточными составами вручную малярной кистью.

Поглощение влаги экспериментальными образцами определяли в лабораторных условиях гравиметрическим методом, сущность которого заключается в определении изменения массы образцов в процессе испытания. Количественным критерием устойчивости экспериментальных образцов к влиянию влажности служила относительная потеря массы после огневых испытаний в установке «Керамическая труба».

**Результаты исследования.** Объект исследования – разработанный ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» пропиточный состав (I) для огнезащитной обработки древесины с азот- и фосфорсодержащими антипиренами и другими целевыми компонентами [8].

Данные экспериментальных исследований позволили построить кинетические кривые поглощения влаги и установить зависимости влагопоглощения  $W$ , %, пропиточных составов (I) и «Негорин ПРО», а также образца древесины без огнезащиты от времени насыщения образцов парами воды. Кинетические кривые аппроксимированы полиномиальными зависимостями второго порядка с коэффициентом корреляции  $r = 0,88...0,98$  (рис. 1).

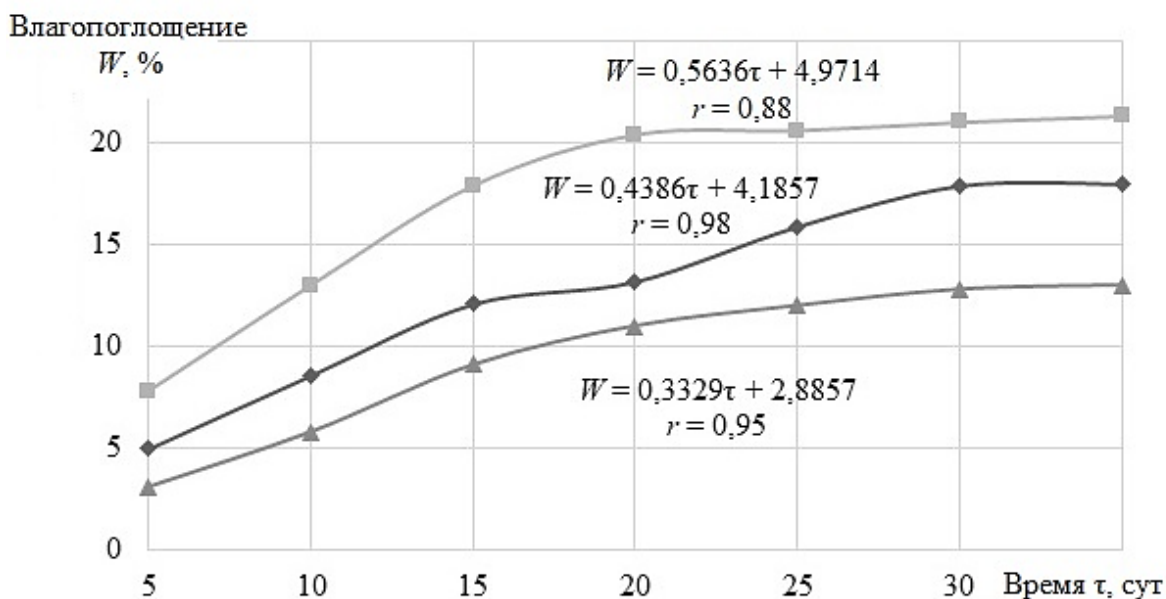


Рис.1. Кинетические кривые поглощения влаги экспериментальными образцами:

—◆— — состав (I); —■— — «Негорин ПРО»; —▲— — без огнезащиты

Резкий рост поглощения паров воды для экспериментальных образцов одинаково наблюдается в течение первых 15 сут испытаний. Кривая поглощения влаги для состава (I) соответствует области более низких значений влагопоглощения (5...18 %) по сравнению с кинетической кривой пропиточного состава «Негорин ПРО» (7,8...21,3 %).

Кривые поглощения влаги для состава (I) и «Негорин ПРО» отличаются между собой присутствием максимума влагопоглощения в разный период времени. Замедление поглощения паров воды пропиточным составом «Негорин ПРО» (плато на кривой) отмечен на 20 сут, для состава (I) этот процесс наблюдается к 30 сут испытаний. Значения влагопоглощения образцов, обработанных пропиточными составами, выше влагопоглощения образца без огнезащиты.

Подобный характер кинетики поглощения влаги пропиточными составами можно объяснить их различным компонентным составом, а также способностью

химических соединений антипиреновой группы к поглощению и удерживанию паров воды.

Результаты исследований по оценке огнезащитных свойств экспериментальных образцов после воздействия на них 100 %-й влажности при температуре  $(20\pm 2)$  °С, представлены в таблице.

Таблица  
Результаты экспериментальных исследований

Параметр	Образец после воздействия влаги		Образец без воздействия влаги (контрольный)	
	состав (I)	«Негорин ПРО»	состав (I)	«Негорин ПРО»
Влагопоглощение, %	19	21	–	–
Средняя потеря массы, %	10	20	8	8
Время начала пламенного горения, с	45	30	45	50
Наличие пламенного горения после отключения горелки	горения нет	горение сохраняется	горения нет	горения нет
Группа огнезащитной эффективности	II	II	I	I
Расход, г/м <sup>2</sup>	380	250	400	260

В результате воздействия влаги на пропиточный состав (I) получено граничное значение первой группы огнезащитной эффективности – потеря массы образцов составила 10 %. Пропиточный состав «Негорин ПРО» также частично сохранил свои огнезащитные свойства, но при этом в результате огневых испытаний значение потери массы образцов после воздействия влаги увеличилось в 2,5 раза по сравнению с потерей массы образцов без воздействия.

Для экспериментальных образцов, прошедших предварительные испытания по воздействию влаги и последующие огневые испытания по методу «керамическая труба», установлено следующее:

- начало пламенного горения образцов, пропитанных составом (I), после и без воздействия влаги одинаково (45 с), что указывает на сохранение огнезащитного эффекта пропитки;

- после прекращения воздействия пламени в течение 2 мин на образцы, пропитанные составом (I), пламенное горение отсутствует, что указывает на способность состава снижать интенсивность реакции термодеструкции древесины;

• в результате испытаний по определению группы огнезащитной эффективности среднее значение потери массы образцов, обработанных пропиточным составом (I), составило 10 %, что в 2 раза меньше потери массы образцов, обработанных составом «Негорин ПРО» (20 %), и указывает на сохранение огнезащитных свойств состава (I) после воздействия на него 100 %-й влажности.

Внешний вид экспериментальных образцов, предварительно выдержанных в парах воды в течение 30 сут, до испытаний по определению группы огнезащитной эффективности представлен на рисунке 2.

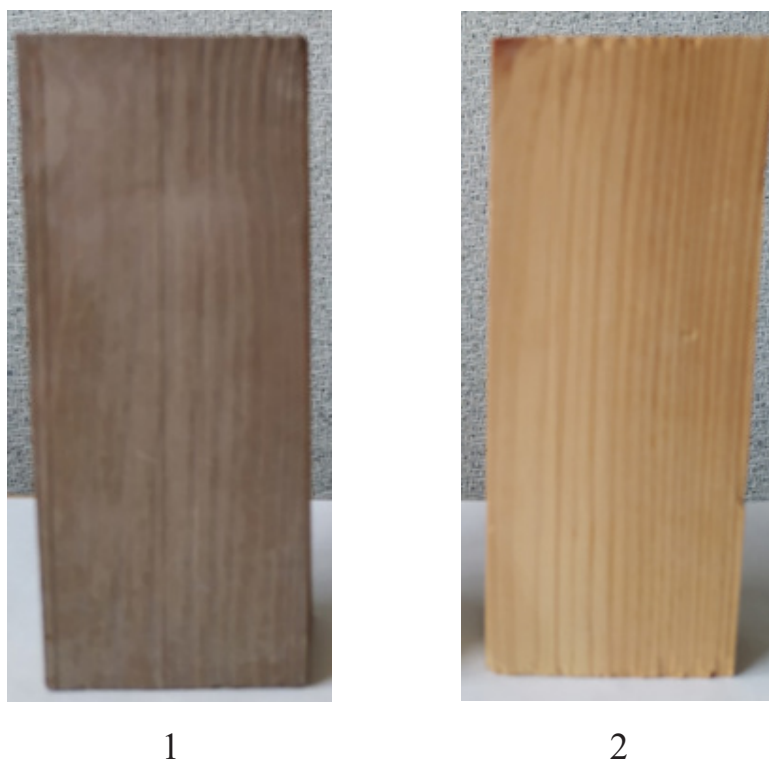


Рис. 2. Внешний вид экспериментальных образцов, предварительно выдержанных в парах воды, до огневых испытаний:  
1 – состав (I); 2 – «Негорин ПРО» – образец для сравнения

Внешний вид экспериментальных образцов, предварительно выдержанных в парах воды в течение 30 сут, после испытаний по определению группы огнезащитной эффективности представлен на рисунке 3.

После термического нагрева образцов «Негорин ПРО» в установке «Керамическая труба», в отличие от образцов, пропитанных составом (I), зафиксированы прогары и участки с глубоким растрескиванием.

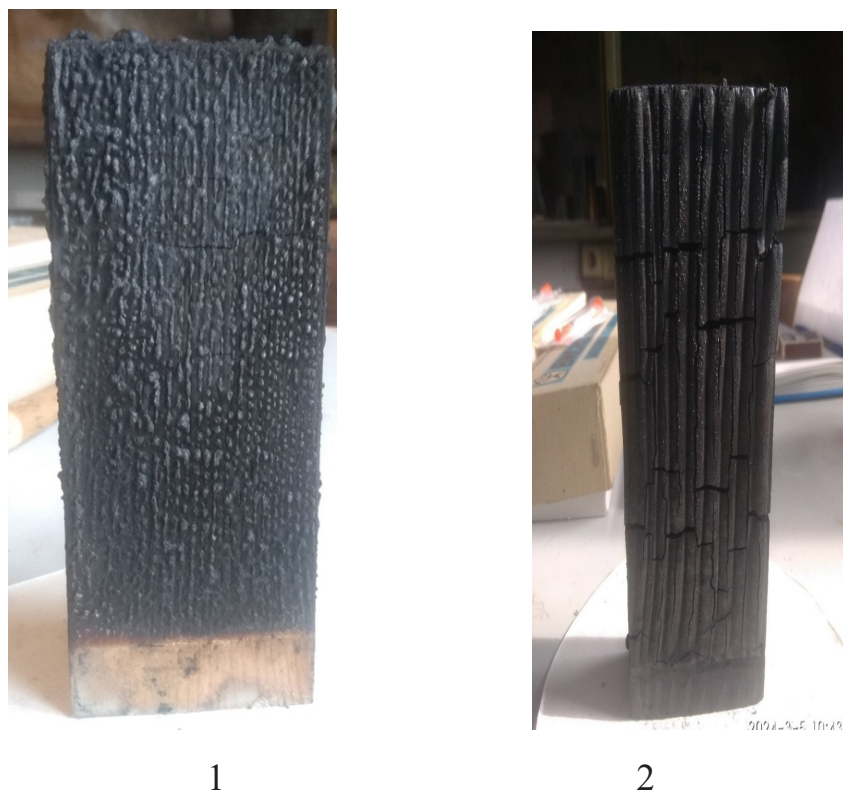


Рис. 3. Внешний вид экспериментальных образцов, предварительно выдержанных в парах воды, после огневых испытаний:  
1 – состав (I); 2 – «Негорин ПРО» – образец для сравнения

Результаты исследования экспериментально подтвердили огнезащитную эффективность азот- и фосфорсодержащих антипиренов. В процессе горения на поверхности древесины, обработанной антипиреном, происходит одновременное вспенивание и карбонизация слоя пропитки, что создает теплоизолирующий барьер между пламенем и поверхностью древесины, подвергающейся высокотемпературному воздействию. Кроме того, азот- и фосфорсодержащие антипирены характеризуются низким образованием дыма.

**Вывод.** Экспериментальная оценка влияния влажности на огнезащитную эффективность пропиточных составов для древесины позволила установить, что в процессе воздействия 100 %-й влажности на экспериментальные образцы произошло снижение группы огнезащитной эффективности с первой на вторую при сохранении огнезащитных свойств. Результаты исследований указывают на устойчивость разработанного огнезащитного пропиточного состава для древесины к влиянию влажности.

#### Список литературы/ References

1. 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.

Gayntseva, A. A. Aksenov, S. G., Lukyanova, I. E. *Zashchita derevyannykh konstruksiy ot ognya : propitka i ognezashchitnye sostavy* [Fire protection of wooden constructions: treatment and flame-retardant compositions]. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2022, vol. 11–2(74), pp. 88–90. (In Russian)

2. Аксенов, С. Г. К вопросу о принятии управленческих решений при проведении аварийно-спасательных работ и тушении пожаров в городских условиях // Современные проблемы пожарной безопасности: теория и практика (FireSafety 2020): Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – Уфа : РИК УГАТУ, 2020. – С. 8–9.

Aksenov, S. G. *K voprosu o prinyatii upravlencheskikh resheniy pri provedenii avariynno-spasatelnykh rabot i tushenii pozharov v gorodskikh usloviyakh* [On the problem of management decision making in the process of emergency-rescue operations and extinguishing the fires in urban conditions]. *Soveremennyye problemy pozharnoy bezopasnosti: teoriya i praktika (FireSafety 2020)*: proceedings of the II All-Russian scientific and practical conference. Ufa, RIK UGATU Press, 2020, pp. 8-9. (In Russian)

3. Орлов, Д. А. Анализ приемов повышения огнестойкости деревянных конструкций / Д. А. Орлов, А. О. Евдокимова // Технические науки – от теории к практике. – 2014. – № 33. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-priemov-povysheniya-ognestoykosti-derevyannyh-konstruksiy> (дата обращения: 19.03.2024).

Orlov, D. A., Yevdokimova, A. O. *Analiz priyomov povysheniya ognestoykosti derevyannykh konstruksiy* [Analysis of wooden constructions fire-retardant efficiency improvement techniques]. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*, 2014, no. 33. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-priemov-povysheniya-ognestoykosti-derevyannyh-konstruksiy> (accessed: 19.03.2024).

4. Смorchков, А. А. Исследование влияния огнезащитной пропитки конструкций из древесины на их напряженно-деформированное состояние / А. А. Смorchков, Д. А. Орлов, В. М. Кретова // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 4. – С. 20–21.

Smorchkov, A. A., Orlov, D. A., Kretova, V. M. *Issledovanie vliyaniya ognezashchitnoy propitki konstruksiy iz drevisiny na ikh napryazhenno deformirovannoe sostoyanie* [Investigation of wooden constructions fire-retardant treatment effect on their stress-strain distribution]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*, 2012, no. 4, pp. 20-21. (In Russian)

5. Karlsson, O. Influence of heat transferring media on durability of thermally modified wood / O. Karlsson, E. Sidorova, T. Morén // *BioResources*. – 2011. – Vol. 6. – № 1. – Pp. 356–372. (In English)

6. Effect of wood drying and heat modification on some physical and mechanical properties of radiata pine / R. Herrera-Díaz, V. Sepúlveda-Villaruel, N. Pérez-Peña, L. Salvo-Sepúlveda, C. Salinas-Lira, R. Llano-Ponte, R. A. Ananías // *Drying Technology*. – 2018. – Vol. 36 (5). – Pp. 537–544. – DOI: 10.1080/07373937.2017.1342094. (In English)

7. Газизов, А. М. Повышение огнезащитных свойств древесины при помощи пропитки антипиреном // А. М. Газизов, А. М. Хазипов, А. В. Мялицин // *Нефтегазовое дело*. – 2022. – № 6. – С. 7–19.

Gazizov, A. M., Khazipov, A. M., Myalitsin, A. V. *Povyshenie ognezashchitnykh svoystv drevesiny pri pomoshchi propitki antipirenom* [Improvement of wood fire-retardant characteristics by antipyrine treatment]. *Neftegazovoe delo*, 2022, no. 6, pp. 7-19. (In Russian)

8. Лебедева, В. В. Экспериментальная оценка влияния сульфатсодержащих соединений на снижение горючести древесины / В. В. Лебедева, О. В. Храпоненко, И. Н. Непочатых // *Научный вестник НИИ «Респиратор»*. – 2024 – № 1(61). – С. 96–105.

Lebedeva, V. V., Khraponenko, O. V., Nepochatykh, I. N. *Eksperimentalnaya otsenka vliyaniya sulfatsoderzhashchikh soedineniy na snizhenie goryuchesti drevesiny* [Experimental assessment of sulfate-containing compounds effect on reduction of wood flammability]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 1(61), pp. 96-105. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым  
Дата поступления рукописи 09.04.2024  
Дата опубликования 19.06.2024

*Viktoria Valentinovna Lebedeva*, head of department; e-mail: [v.lebedeva@80.mchs.gov.ru](mailto:v.lebedeva@80.mchs.gov.ru);  
*Oleg Vladimirovich Khraponenko*, scientific associate; e-mail: [o.khraponenko@80.mchs.gov.ru](mailto: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

## ASSESSMENT OF FLAME-RETARDANT WOOD RESISTANCE TO HUMIDITY

**Objective.** To assess the effect of humidity on the fire-retardant effectiveness of a composition for surface impregnation of wood

**Methods.** Detection of water vapor absorption by the samples was conducted by the gravimetric method, the class of fire-retardant efficiency was determined by the standard method, i.e. "ceramic pipe."

**Results.** The humidity absorption ratio of the designed impregnating coating (I) has been determined and its fire-retardant efficiency after exposure to humidity has been confirmed: the average mass loss after the fire tests made 10 %. On the basis of the experimental data the kinetic curves of humidity absorption have been plotted and the dependences of changing humidity absorption on the of the moisture gaining duration have been determined for the impregnating composition (I) and "Negorin-PRO" composition as well as for the non-fire-retardant wood sample in the closed exicators with relative humidity of 100%.

The kinetic curves are approximated by polynomial relations of the second order with the correlation coefficient  $r$  equals 0.88...0.98.

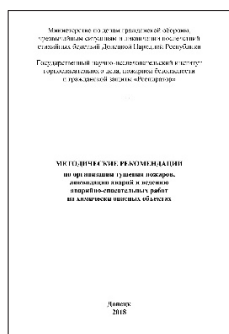
**Scientific novelty.** Novel analytical dependence describing the humidity effect on fire-retardant characteristics of the designed impregnating composition for wood has been established.

**Practical value.** The results of the studies demonstrated that the applied investigation technique may be utilized to determine the hydrophilic and fire-retardant characteristics of the impregnating composition for wooden constructions during assessment of its resistance to the natural factors of environment.

**Keywords:** *antipyrine; fire safety; water absorption coefficient; wood flame-retardance; mass loss; impregnating composition; fire-retardance efficiency class.*

**For citation.** Lebedeva V. V., Khraponenko O. V. Assessment of flame-retardant wood resistance to humidity. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 2(61), pp. 120-128. EDN PICIBQ.

## 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.

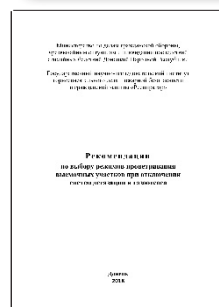
Для личного состава МЧС ДНР, который принимает участие в тушении пожаров, ликвидации аварий и ведении аварийно-спасательных работ на химически опасных объектах.



**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.

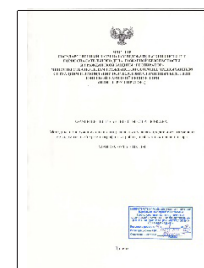


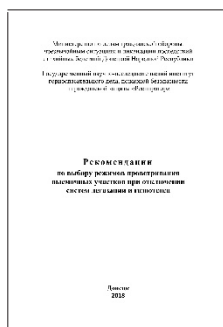
**Создание и функционирование шахтных горноспасательных станций на горных предприятиях Донецкой Народной Республики** : утв. МЧС ДНР 13.07.2018 № 202, МУЭ ДНР 13.07.2018 № 220. – Донецк, 2018. – 42 с.

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.





**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.



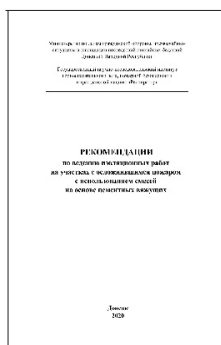
**Пособие по применению аварийно-спасательного инструмента и оборудования, находящегося на вооружении подразделений МЧС ДНР** : утв. МЧС ДНР 29.12.2017. – Донецк, 2018. – 220 с.

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.



**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.



**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.

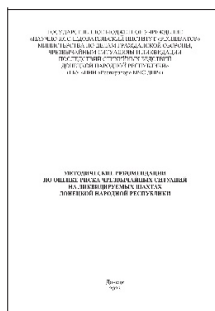
Предназначено для работников ГВГСС МЧС ДНР.



**Методические рекомендации по выбору методов оценки рисков чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах.** – Донецк : 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.

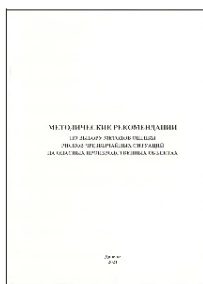
Предназначены для специалистов по вопросам охраны труда и промышленной безопасности предприятий, организаций и учреждений, осуществляющих проектирование, строительство, эксплуатацию, реконструкцию, техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию опасных производственных объектов, экспертно-технических 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.

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-зольной 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 цементнозольной 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, сборка, регулировка и проверка отдельных узлов и респиратора в собранном виде.

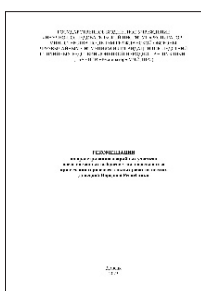
Предназначена для использования в подразделениях ГВГСС МЧС ДНР при проведении ежегодного технического обслуживания (годовой ревизии всех составных частей), ремонта и проверок респираторов Р-30 и Р-34 со сроком эксплуатации более 10 лет для продления их срока службы.



**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. 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, № 2(61)

На русском и английском языках

Ответственный редактор Л. В. Барзий

Технический редактор Н. Н. Грибенюк

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 в печать 19.06.2024. Формат 60×84<sup>1/8</sup>. Бумага офсетная. Гарнитура таймс.  
Печать лазерная. Усл. печ. л. 15,81. Тираж 20 экз. Заказ № 2

---

ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России», ул. Артема, 157, Донецк, 283048  
Телефоны: +7 (856) 332-78-01; 332-78-60  
E-mail: [respirator@80mchs.gov.ru](mailto:respirator@80mchs.gov.ru)  
URL: <http://respirator.dnmchs.ru>