



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»

№ 3(61)

Выходит 4 раза в год

Основан в 1970 г.

Донецк
2024

Научный вестник НИИ «Респиратор». – Донецк, 2024. – № 3(61). – 132 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 № 6 от 05.09.2024).

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. 3(61)

Published quarterly

Founded in 1970

Donetsk
2024

Scientific bulletin of the NII "Respirator". – Donetsk, 2024. – No. 8(61). – 132 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. 6 from 05.09.2024).

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

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

СОДЕРЖАНИЕ***I. Пожарная безопасность***

**Калякин С. А., Лабинский К. Н.,
Головченко Е. А., Белокобыльский М.А.**
Связь энергии активации угольного
аэрозоля с пожаровзрывоопасностью

7

**Мамаев В. В., Агарков Ал. В.,
Буряк Д. С., Дикенштейн И. Ф.**
Метод оценки температуры в горных
выработках шахт по концентрациям
пожарных газов

15

**Симонов А. М., Мавроди А. В.,
Ивахненко А. В.**
Продолжительность переходного газо-
динамического процесса в изолированном
пожарном участке шахты

24

Лебедева В. В., Томилов М. К.
Влияние физических свойств водных
композиций на их огнетушащую
способность

32

Канищев Н. А., Завьялов Г. В.
Обоснование противопожарной защиты
объектов целлюлозно-бумажной
промышленности

41

II. Безопасность труда

Кулакова С. И., Павлов В. И.
Причины газовой аварийности угольных
шахт Донбасса в постприватизационный
период

50

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

**Kalyakin S. A., Labinsky K. N.,
Golovchenko E. A., Belokobylsky M. A.**
The connection of activation energy of
a coal aerosol with flammability and
explosibility

**Mamayev V. V., Agarkov Al. V.,
Buryak D. S., Dikenshtein I. F.**
Method for assessing temperature in mine
workings by concentrations of fire gases

**Simonov A.M., Mavrodi A.V.,
Ivakhnenko A.V.**
Duration of the transient gas dynamic
process in an isolated fire section of the
mine

Lebedeva V. V., Tomilov M. K.
The effect of the physical properties
of aqueous compositions on their fire
extinguishing ability

Kanishchev N. A., Zavyalov G. V.
Justification of fire protection of pulp and
paper industry facilities

II. Occupational safety

Kulakova S. I., Pavlov V. I.
Causes of gas accidents in the coal mines
of Donbas during the post-privatization
period

Канин В. А., Пивень Ю. А.

Основные приоритеты повышения безопасности горных работ

59

Kanin V. A., Piven Yu. A.

Main priorities for improving the safety of mining works

Драган С. П., Ковалёв Р. К., Богомолов А. В., Лизунов В. Ю.

Критерии регистрации акустического рефлекса органа слуха

69

Dragan S. P., Kovalyev R. K., Bogomolov A. V., Lizunov V. Yu.

Criteria for recording the acoustic reflex of the hearing organ

III. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

III. Safety in emergency situations

Агеев В. Г., Пефтибай Г. И., Галухин Н. А., Медгаус В. М.

Методы теории двухфазных течений в задаче определения скоростей газового и капельного потоков на входе сопла

82

Ageyev V. G., Peftibay G. I., Galukhin N. A., Medgaus V. M.

Methods of the theory of two-phase flows in the problem of determining the velocities of gas and droplet flows at the input of a gas-droplet nozzle

Черкесов В. В., Петров А. В.

Возможности психофизиологической адаптации спасателей при использовании современной аварийно-спасательной техники (Информационно-аналитический анализ. Часть 1)

93

Cherkesov V. V., Petrov A. V.

The possibilities of psychophysiological adaptation of rescuers using modern technology emergency rescue equipment. (Information and analytical analysis. Part 1)

Канин В. А., Храпоненко О. В., Щербакова О. Н.

Оптимизация свойств пропитки для огнезащитной обработки древесины

104

Kanin V. A., Khraponenko O. V., Shcherbakova O. N.

Optimization of the flame retardant properties of the impregnation for wood

Кузьмин А. В., Исаева А. Р., Зинкевич Р. Н.

Методика оценки рисков природного характера при формировании паспорта безопасности территории

112

Kuzmin A. V., Isaeva A. R., Zinkevich R. N.

A methodology for assessing natural risks to develop a safety passport for the territory

І. Пожарная безопасность

УДК 622.822.22:[614.838.4:622.411.52]

Станислав Александрович Калякин, д-р техн. наук, проф.; e-mail: yglenit@gmail.com;
Константин Николаевич Лабинский, д-р техн. наук, доцент; e-mail: science.donntu@mail.ru
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий национальный технический университет»
283001, Донецк, ул. Артема, 58. Тел.: +7 (949) 399-14-71; +7 (949) 303-61-83
Евгений Александрович Головченко, канд. техн. наук, нач. отд.; e-mail: ennio_80@mail.ru;
Михаил Александрович Белокобыльский, инж.; e-mail: obep.niigd@list.ru
Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. +7 (949)-340-97-96; +7 (949) 381-61-96

СВЯЗЬ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ УГОЛЬНОГО АЭРОЗОЛЯ С ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬЮ

Цель. Установить зависимость энергии активации угольной пыли от критической температуры самовозгорания для оценки ее пожаровзрывоопасности.

Методы. Экспериментальные и аналитические исследования энергии активации процесса окисления угольного аэрозоля различных шахтопластов Донбасса.

Результаты. Проведенные исследования показали, что уменьшение размера фракций угольной пыли до состояния аэрозоля влияет на химическую активность угля и энергию активации процесса окисления всех исследуемых шахтопластов и марок угля. Для углей различной степени склонности к самовозгоранию установлены зависимости энергии активации от критической температуры самовозгорания

Научная новизна. Впервые для фракций угольного аэрозоля установлены корреляционные зависимости энергии активации от пожаровзрывоопасности угольной пыли.

Практическая значимость. Полученные результаты необходимо учитывать для оценивания опасности развития процесса самовозгорания в образующихся скоплениях угольной пыли. Установленные зависимости энергии активации от критической температуры самовозгорания позволяют повысить точность оценки пожаровзрывоопасных свойств угольного аэрозоля и безопасность ведения горных работ.

Ключевые слова: энергия активации; химическая активность угля; критическая температура самовозгорания; угольная пыль; угольный аэрозоль; пожаровзрывоопасность.

Для цитирования: Калякин С. А., Лабинский К. Н., Головченко Е. А., Белокобыльский М. А. Связь энергии активации угольного аэрозоля с пожаровзрывоопасностью // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 3(61). – С. 7–14. EDN AHNXMA.

Постановка проблемы. Учитывая ряд противоречий в общепринятом механизме взрыва и горения угольной пыли, согласно работам [1, 2], при горении и взрыве угольной пыли необходимо учитывать химизм процесса взаимодействия угольных частиц и кислорода, происходящего на поверхности частицы, и химическую активность разрушенных макромолекул угля при их взаимодействии с окружающей средой.

Известно, что окисление углей представляет собой сложный процесс, состоящий из совокупности большого количества макроскопических стадий [2, 3]. Энергия активации процесса окисления угольной частицы – один из основных параметров, характеризующих скорость протекания реакции окисления угля кислородом. Чем больше значение энергии активации процесса окисления, тем медленнее при заданной температуре будет протекать реакция окисления.

Таким образом, становится очевидным то, что необходим новый подход в объяснении процессов, происходящих при горении и взрыве угольной пыли в смеси с воздухом.

Анализ последних исследований. Термогравиметрическими исследованиями [3] процесса окисления углей при нагревании образцов с постоянной скоростью установлено, что при температуре до 70 °С доминирует процесс образования пероксидов, в интервале 70...150 °С доминирует процесс разложения пероксидов, а свыше 120...150 °С – процесс образования более устойчивых «угольно-кислородных комплексов». Энергия активации процесса окисления на первой стадии составляет 1,5...16,7 кДж/моль, на второй 25,0...29,0 кДж/моль, на третьей 62,0...71,0 кДж/моль.

Значения энергии активации и предэкспоненциального множителя определяют в НИИ «Респиратор» по результатам исследований температурной зависимости скорости окисления угольного вещества в интервале температур от начальной T_0 , К, до критической $T_{кр}$, К [4].

Результаты исследований в работах [3, 4] учитывают теплоизолирующие условия проведенных экспериментов и размеры частиц угля 1...3 мм.

Исследования [5, 6] показали, что большая часть угольных пластов образует угольную пыль, константы скорости окисления которой и время инкубационного периода самовозгорания существенно выше, чем угля, а также существует взаимосвязь химической активности угля, температуры его воспламенения и внутренней поверхности угольных частиц.

Поэтому для оценки пожаровзрывоопасности угольной пыли при ведении горных работ представляет определенный интерес определение связи энергии активации процесса окисления угольного аэрозоля с пожаровзрывоопасностью угольной пыли.

Цель исследования – установление зависимости энергии активации угольной пыли от критической температуры самовозгорания для оценки ее пожаровзрывоопасности.

Материалы и результаты исследований. Используя газохроматографический метод установления склонности угля к самовозгоранию, разработанный НИИ «Респиратор», и результаты определения константы скорости окисления углей [4, 5], можно определить значение энергии активации E , Дж/моль,

и предэкспоненциального множителя k_0 , м/с, в интервале температур начальной до критической по следующим формулам:

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

$$k_0 = k_{\text{л}} e^{\frac{E}{RT_0}}, \quad (2)$$

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

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

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

T_0 – начальная температура окисления, К;

$T_{\text{кр}}$ – критическая температура самовозгорания угля, К.

Согласно исследованиям [4, 7] энергия активации процесса окисления угля зависит от показателя химической активности $\ln\left(\frac{k_{\text{кр}}}{k_0}\right)$ и оказывает влияние на эндогенную пожароопасность угольных пластов. Используя зависимость критической температуры самовозгорания угля от энергии активации

$$T_{\text{кр}} = \frac{E}{2R} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4R}{E} T_0} \right) \quad (3)$$

получим аналитическую зависимость энергии активации от химической активности и критической температуры самовозгорания

$$E = -T_{\text{кр}} R \ln \left(\frac{k_{\text{кр}}}{k_0} \right). \quad (4)$$

На основании результатов экспериментальных исследований по определению склонности угля к самовозгоранию НИИ «Респиратор» [4, 5, 7] для углей шахт Донбасса различной степени склонности к самовозгоранию построим зависимость энергии активации E , Дж/моль, от критической температуры самовозгорания $T_{\text{кр}}$, К (рисунок).

В качестве основных данных используем константу скорости окисления угля при критической температуре $k_{\text{кр}}$, с⁻¹, и критическую температуру самовозгорания угля $T_{\text{кр}}$, К.

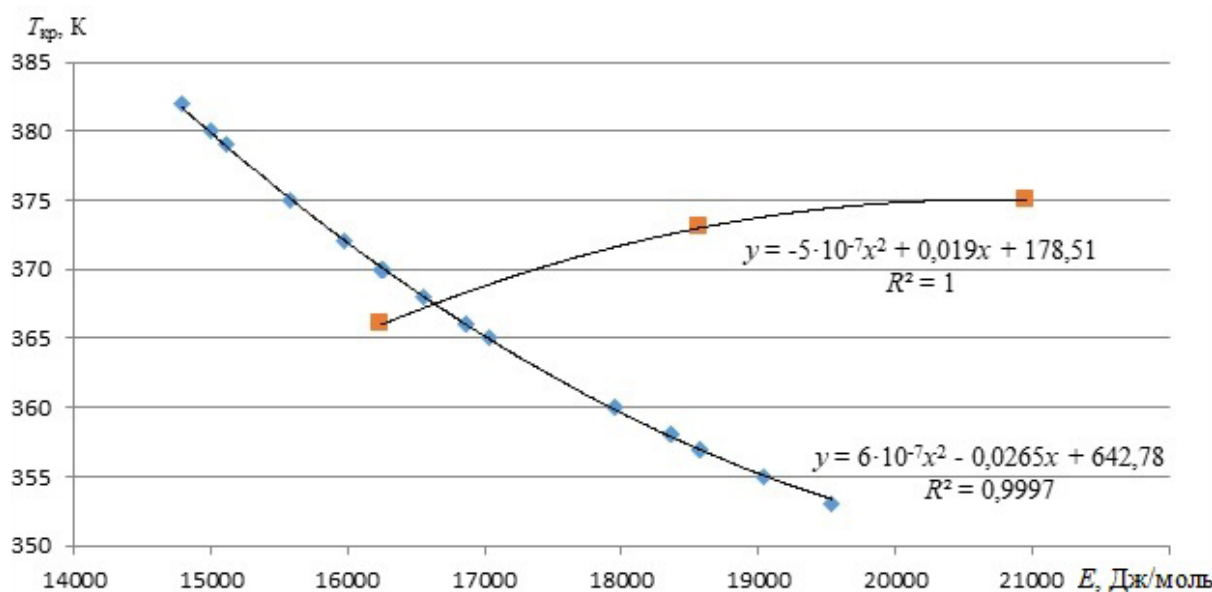


Рис. Зависимость энергии активации E от критической температуры самовозгорания $T_{кр}$

Анализ результатов показывает, что для основной части угольных пластов Донбасса (угли, склонные к самовозгоранию III группы эндогенной пожароопасности и не склонные к самовозгоранию) увеличение энергии активации E связано с уменьшением критической температуры $T_{кр}$ самовозгорания угольных частиц в исследуемом диапазоне описано полиномом второй степени с высоким уровнем достоверности ($R^2 = 0,9997$).

Угли, склонные к самовозгоранию, но относящиеся к I и II группам эндогенной пожароопасности, имеют иной характер взаимосвязи энергии активации E и критической температуры $T_{кр}$ самовозгорания и уровень достоверности результатов ($R^2 = 1$), однако из-за малого количества проанализированных результатов это предположение нуждается в более детальном исследовании.

Используя зависимость (4) и результаты исследований [5–7], определим энергию активации процесса окисления для частиц угольной пыли разного размера и различных шахтопластов Донбасса. В таблице представлены значения энергии активации E процесса окисления для различных фракций частиц угольной пыли шахтопластов Донбасса.

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что уменьшение размера фракций угольной пыли до значения 50 мкм влияет на химическую активность угля и энергию активации процесса окисления всех исследуемых шахтопластов и марок угля шахт Донбасса. Значение энергии активации в исследуемых пробах угольной пыли размерами частиц 50 мкм выше, чем пыли с размерами частиц 750 мкм.

Таблица

Энергия активации окисления для частиц угольной пыли шахтопластов Донбасса в зависимости от исследуемой фракции угольной пыли

Шахта, угольный пласт, марка угля	Энергия активации E , Дж/моль, при размере угольных частиц в пробах d , мкм			
	750	375	175	50
ГУП ЛНР «РТК «Востокуголь» ш/у «Краснодонское» шахта им. Н.П. Баранова, k_5^H , Ж	16254	16744	17554	18021
ГУП ЛНР «РТК «Востокуголь» ш/у «Краснодонское» шахта «Самсоновская-Западная», k_2^H , Ж	17112	17401	17554	17884
ГУП ЛНР «РТК «Востокуголь» ш/у «Краснодонское» шахта «Суходольская-Восточная», i_3^1 , К	16012	16501	16662	17223
ГУП ДНР ДУЭК, шахта им. А.А. Скочинского, h_6^1 , К	18831	18997	19288	19324
ГУП ЛНР «РТК «Востокуголь» ш/у «Луганское» шахта «Белореченская», l_6 , Г	15227	15411	16011	16254
ООО «Горняк-95», k_4^1 , ОС	16230	16578	16901	17002
ГУП ДНР Шахта «Комсомолец Донбасса», l_4 , Т	15221	15438	15784	15802
ГУП ДНР «Шахта им. А.Ф. Засядько», m_3	15558	16421	17884	18580
ГУП ДНР «Шахта им. А.Ф. Засядько», l_1	16214	17004	17884	18423
ООО «Углеком», m_3	17554	17601	17722	17814
ООО «Углеком», l_6	18002	18141	19107	19541

Из анализа данных (таблица) следует, что энергия активации угольной пыли – один из важных факторов, который необходимо учитывать при оценке пожаровзрывоопасности угольных скоплений. С физической точки зрения даже для активных, легкоокисляющихся углей, имеющих значительную энергию активации, определяемую большой химической активностью и критической температурой, процесс самонагрева может не перейти к возгоранию вследствие затруднений накопления теплоты при высоких температурах. И наоборот, угли с небольшой энергией активации могут самовозгореться вследствие незначительного повышения температуры при низкотемпературном окислении.

Выводы. Проведенные исследования показали, что уменьшение размера фракций угольной пыли до состояния аэрозоля влияет на химическую активность угля и энергию активации процесса окисления всех исследуемых шахтопластов и марок угля. Для углей, склонных к самовозгоранию III группы эндогенной пожароопасности и не склонных к самовозгоранию, взаимосвязь критической температуры самовозгорания и энергии активации достаточно точно описывается полиномом второй степени, однако необходимо дальнейшее исследование для углей I и II групп эндогенной пожароопасности. Полученные результаты необходимо учитывать для оценки опасности развития процесса самовозгорания в образующихся скоплениях угольной пыли при ведении горных работ.

Список литературы / References

1. Романченко, С. Б. Физико-химические преобразования в угольной пыли при взрывах / С. Б. Романченко, А. А. Трубицын, В. В. Соболев // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2019. – № 4. – С. 7–20.

Romanchenko, S. B. *Physiko-khimicheskie preobrazovania v ugolnoy pyli pri vzryvakh* [Physico-chemical transformations in coal dust during explosions]. *Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti*, 2019, no. 4, pp. 7-20. (In Russian)

2. Предотвращение распространения взрывов метана и пыли в угольных шахтах / Л. Медич Пейч, Х. Гарсия Торрент, Н. Фернандез Аньез, Х. Мартин Молина Эскобар // Записки Горного института. – 2017. – Т. 225. – С. 307–312.

Medich Paich, L., Garcia Torrent, H., Fernandez Agnez, N., Martin Molina Escobar, H. *Predotvrashcheniye rasprostraneniya vzryvov metana i pyli v ugolnykh shakhtakh* [Preventing the spread of methane and dust explosions in coal mines]. *Zapiski Gornogo instituta*, 2017, vol. 225, pp. 307-312. (In Russian)

3. Портола, В. А. Способы предотвращения самовозгорания угля и взрывов угольной пыли в шахтах / В. А. Портола, Н. Ю. Луговцова, Е. С. Торосян // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № S7. – С. 119–124.

Portola, V. A., Lugovtsova, N. Yu., Torosyan, E. S. *Sposoby predotvrashcheniya samovozgoraniya uglya i vzryvov ugolnoy pyli v shakhtakh* [Ways to prevent spontaneous combustion of coal and explosions of coal dust in mines]. *Gornyy informatsionnyy and analiticheskiy bulletin*, 2012, no. S7, pp. 119-124. (In Russian)

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

Pashkovsky, P. S. *Endogennye pozary v ugolnykh shakhtakh* [Endogenous fires in coal mines]. Donetsk : Knowledge Publ. (Donetsk branch), 2013. – 792 p. (In Russian)

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

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

6. Калякин, С. А. Зависимость температуры воспламенения угольной пыли от выхода летучих веществ / С. А. Калякин, Е. А. Головченко, М. А. Белокобыльский // Научный Вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 1(60). – С. 35–42.

Kalyakin, S. A., Golovchenko, E. A., Belokobylsky, M. A. *Zavisimost temperatury vosplameneniya ugolnoy pyli ot vykhoda letuchikh veshchestv* [Dependence of the ignition temperature of coal dust on the release of volatile substances]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2023, no. 1(60), pp. 35-42. (In Russian)

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

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

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

Дата поступления рукописи 06.08.2024

Дата опубликования 19.09.2024

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

Konstantin Nikolayevich Labinskiy, Dr. Sci. (Tech.), associate professor; e-mail: science.donntu@mail.ru

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education

«Donetsk national technical university»

283001, Donetsk, Artema street, 58. Phone: +7 (949) 303-61-83; +7 (949) 399-14-71.

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

Mikhail Aleksandrovich Belokobylskiy, engineer; e-mail: obep.niigd@list.ru

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

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

THE CONNECTION OF ACTIVATION ENERGY OF A COAL AEROSOL WITH FLAMMABILITY AND EXPLOSIBILITY

Objective. Determination relationship of the activation energy of coal dust on the critical temperature of spontaneous combustion to assess with flammability and explosibility.

Methods. Experimental and analytical studies of the activation energy of the oxidation process of coal aerosol of various of the Donets coalfields.

Results. The conducted studies showed that reducing the size of coal dust fractions to an aerosol state affects both the chemical activity of coal and the activation energy of the oxidation process of all studied coal seams and grades of coal. For coals with varying degrees of propensity to spontaneous combustion, the dependences of the activation energy on the critical temperature of spontaneous combustion have been established.

Scientific novelty. For the first time, correlations have been established for coal aerosol fractions, establishing a connection between the activation energy with flammability and explosibility of coal dust.

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

Keywords: *activation energy; coal chemical activity; critical temperature of spontaneous combustion; coal dust; coal aerosol; flammability and explosibility.*

For citation: Kalyakin S. A., Labinsky K. N., Golovchenko E. A., Belokobylsky M. A. The connection of activation energy of a coal aerosol with flammability and explosibility. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, № 3(61), pp. 7-14. EDN AHNXMA.

УДК 622.822.2:[622.413.3:622.411.3]:001.891.572

Валерий Владимирович Мамаев, д-р техн. наук, гл. науч. сотр.; e-mail: respirator@80mchs.gov.ru;
Александр Владиславович Агарков, канд. техн. наук, нач. отд.; e-mail: aleksander_agarkov@mail.ru;
Дмитрий Сергеевич Буряк, ст. науч. сотр.; e-mail: buryak_ds@mail.ru;
Игорь Феликсович Дикенштейн, науч. сотр.; e-mail: opbush@mail.ru
Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-39

МЕТОД ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТ ПО КОНЦЕНТРАЦИЯМ ПОЖАРНЫХ ГАЗОВ

Цель. Исследовать процессы тепломассообмена и разработать метод оценки температуры в горных выработках шахт по концентрациям пожарных газов при ведении аварийно-спасательных работ.

Методы. Использован комплексный метод, включающий анализ проведенных теоретических исследований, сравнение полученных результатов с экспериментальными данными, а также методы математической статистики для обработки результатов исследований.

Результаты. Установлены зависимости температуры от скорости воздуха в горных выработках при различных концентрациях оксида углерода, разработан метод оценки температуры по концентрациям пожарных газов, представлен пример расчета ожидаемой температуры в зоне горения и скорости распространения очага пожара в аварийном участке шахты.

Научная новизна. Разработан метод оценки температуры в горных выработках шахт по концентрациям пожарных газов, отличающийся от известных возможностью прогнозирования температуры согласно мониторингу концентраций оксида углерода, а также определения скорости распространения очага пожара с учетом термического расширения газов.

Практическая значимость. Результаты исследований позволяют оценивать температуру в горных выработках по концентрациям пожарных газов для разработки научно обоснованных рекомендаций по их использованию горноспасательными подразделениями при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах.

Ключевые слова: угольная шахта; горная выработка; концентрация пожарных газов; тепломассообменные процессы; метод оценки.

Для цитирования: Мамаев В. В., Агарков Ал. В., Буряк Д. С., Дикенштейн И. Ф. Метод оценки температуры в горных выработках шахт по концентрациям пожарных газов // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 3(61). – С. 15–23. EDN AMPККВ.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Угольная промышленность – одна из ключевых отраслей экономики России. Однако, несмотря на принимаемые меры по совершенствованию промышленной безопасности, уровень подземных пожаров в общем количестве аварий в отрасли достаточно высокий, при этом создаются условия, опасные для жизни и здоровья горноспасателей [1].

Согласно анализу данных ФГУП «ВГСЧ» МЧС России, за 13-летний период произошло 603 аварии, из них 288 подземных пожаров, а также пожаров на поверхностном комплексе шахт (в среднем – 22 пожара в год). По частоте

возникновения пожары в угольных шахтах составляют 45 % всех подземных аварий.

Наиболее часто происходят экзогенные пожары, которые могут осложняться взрывами газозвушной смеси, при этом застигнутые аварией люди подвергаются угрозе поражения ударной волной и отравления продуктами взрыва.

В настоящее время горноспасатели применяют дистанционный контроль шахтной среды для получения данных о содержании горючих и взрывоопасных газов в аварийных участках [2, 3]. Однако применяемый способ и технические средства не позволяют прогнозировать температуру в горных выработках по концентрациям пожарных газов.

Анализ последних исследований и публикаций. Теоретическим и экспериментальным исследованиям термогазовой динамики в шахтах при пожарах посвящены научные труды многих отечественных и зарубежных ученых [1–7].

При исследовании динамики подземного пожара авторами определены максимальная температура пожарных газов в очаге горения, скорость его перемещения по выработке в зависимости от скорости вентиляционного потока, величина зоны горения, состав пожарных газов. В работе [5] автором изложены результаты многочисленных экспериментальных и теоретических исследований в области газовой динамики шахт, рассмотрены газодинамические характеристики вентиляционных потоков, процессы образования слоевых скоплений метана в горных выработках.

Анализ проведенных теоретических исследований позволил установить, что предлагаемые ранее методы оценки газовой обстановки в горных выработках при пожарах не позволяют прогнозировать температуру согласно мониторингу концентраций оксида углерода, а также определять скорость распространения очага пожара с учетом термического расширения газов.

Цель статьи – исследовать процессы тепломассообмена и разработать метод оценки температуры в горных выработках шахт по концентрациям пожарных газов при ведении аварийно-спасательных работ.

Результаты исследований. В мировой практике горного и горноспасательного дела применяют два способа определения параметров шахтной среды путем использования сети:

- трубопроводов для отбора проб воздуха из контрольных точек шахты, доставки их на поверхность в специальных емкостях для анализа в газоаналитической лаборатории (или экспресс-анализ проб непосредственно в шахте на безопасном расстоянии от аварийного участка);
- систем мониторинга, датчики которых установлены непосредственно в точках газового контроля горных выработок, информация о концентрациях измеряемых газов по каналам связи передается на диспетчерский пункт.

Оба способа позволяют получить информацию о концентрациях газов (кислорода, метана, оксида и диоксида углерода) в аварийном участке шахты.

Используя эти данные, можно определить вид горючего материала K согласно формуле (1) и таблице [8]:

$$K = \frac{CO_2 + CO}{C_0 - C_1}, \quad (1)$$

где CO и CO_2 – концентрации оксида и диоксида углерода соответственно, %;
 C_0 и C_1 – объемные концентрации кислорода на входе и выходе из зоны горения соответственно, %.

Таблица

Обобщенные данные для оценки вида сгорающего вещества

Сгорающее вещество	Значение коэффициента K		
	Согласно формуле (1)	Отечественные данные	Зарубежные данные
Метан	0,5	0,4...0,5	0,4...0,5
Уголь, метан, конвейерная лента	0,5...1,0	0,5...1,0	0,5...1,0
Твердое топливо (уголь, древесина)	1,0...2,0	1,0	0,86...1,6

Концентрацию кислорода при горении определяют согласно формуле

$$C_0 - C_1 = CO_2 + 0,5CO, \quad (2)$$

а текущую температуру T_k , °C, по формуле

$$T_k = T_0 + \frac{0,01(C_0 - C_1)\tilde{u}H_c}{c(\tilde{u} + 2\tilde{\alpha}l / 3)}, \quad (3)$$

где T_0 – температура до возникновения пожара, °C;

\tilde{u} – средняя скорость воздуха, м/с;

H_c – теплота сгорания, кДж/кг;

c – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·K);

$\tilde{\alpha}$ – удельный коэффициент теплообмена со стенками выработки, с⁻¹;

l – длина выработки аварийного участка, м.

Используя эмпирическую зависимость температуры от скорости воздуха при горении дерева и почти полном расходовании кислорода (до 1 %), можно определить исходные параметры формулы (3).

В этом случае при удельной теплоемкости воздуха $c = 1,04$ кДж/(кг·К) [9] получим теплоту сгорания $H_c = 6250$ кДж/кг и удельный коэффициент теплообмена со стенками выработки $2\tilde{\alpha}l/3 = 0,25$. Примем, что температура до возникновения пожара $T_0 = 20$ °С. Тогда, объединяя формулы (2) и (3), получим значение текущей температуры в аварийной выработке

$$T_k = T_0 + \frac{62,5(\text{CO}_2 + 0,5\text{CO})\tilde{u}}{\tilde{u} + 0,25}. \quad (4)$$

Согласно формуле (4) определяем зависимость температуры от скорости воздуха при различных концентрациях оксида углерода (рис.): экспериментальные данные получены в условиях проветривания штольни при исследовании динамики развития экзогенного пожара [10]. Относительная погрешность результатов теоретических исследований и экспериментальных измерений не превышает 15 %.

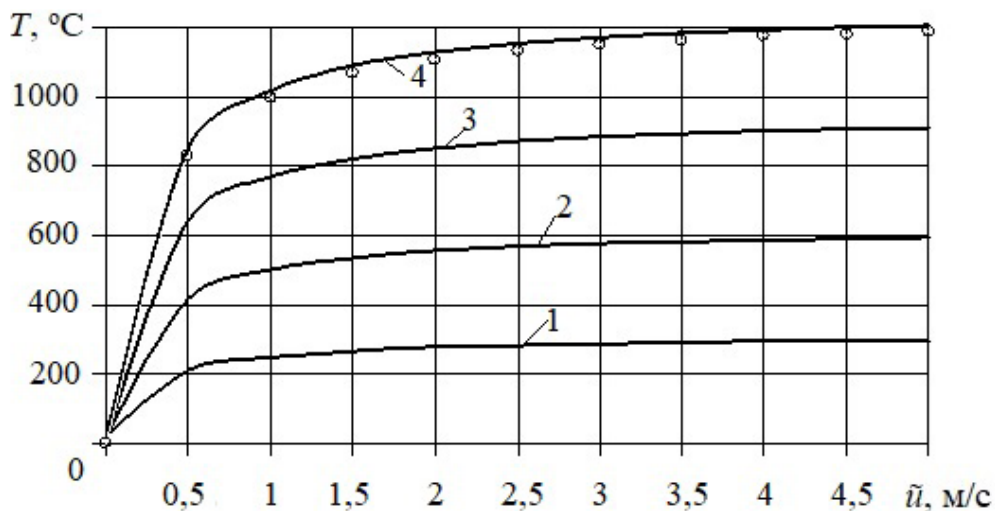


Рис. Зависимости температуры от скорости воздуха в горных выработках при различных концентрациях оксида углерода:
1 – CO = 5 %; 2 – CO = 10 %; 3 – CO = 15 %; 4 – CO = 20 %

Согласно данным мониторинга можно прогнозировать скорость развития пожара и время достижения максимальной температуры. С этой целью для времени с момента возникновения пожара τ_1 , с, и времени τ_2 , с, по мере получения информации о концентрациях диоксида углерода начальной ΔC_1 и конечной ΔC_2 находим по формуле (4) значения температуры на входе T_1 и на выходе T_2 из выработки.

Принимая, что для развитого пожара $\text{CO}_2 + \text{CO} = 20\%$, определим по формуле (4) максимальную температуру в зоне горения $T_{\text{п}}$, К. Для этого представим формулу из работы [11] в следующем виде:

$$\exp(\bar{T}_n \bar{\tau}) = \frac{(\bar{T}_n - 1)}{\bar{T}_n / \bar{T} - 1}, \quad (5)$$

где \bar{T}_i – температура, К;

$\bar{\tau}$ – время с момента возникновения пожара, с.

Для времени τ_1, τ_2 и температур T_1, T_2 согласно формуле (5) получим

$$\exp[T_n v(\tau_2 - \tau_1) / T_0] = \frac{T_n / T_1 - 1}{T_n / T_2 - 1}, \quad (6)$$

где $v = \tilde{u} / l + \tilde{\alpha}$ – показатель скорости развития пожара, с⁻¹.

Логарифмируя выражение (6), определим показатель скорости развития пожара

$$v = \frac{T_0 / T_n \ln(T_n / T_1 - 1)}{\tau_2 - \tau_1 (T_n / T_2 - 1)}. \quad (7)$$

Определим скорость развития пожара с учетом максимальной температуры за промежуток времени (τ_1, τ_2), зависимости (7) и термического расширения воздуха.

Время достижения максимальной температуры, когда возникают наиболее опасные встречные потоки пожарных газов [11], определим согласно зависимости (5). Считаем, что стадия полностью развитого пожара наступает, когда текущая температура в выработке отличается от максимальной на 10 % ($T = 0,9T_n$). В этом случае зависимость (5) представим в виде

$$\exp(\bar{T}_n v \tau_n) = \frac{\bar{T}_n - 1}{0,9\bar{T}_n - 1}. \quad (8)$$

где τ_n – время достижения температуры T при стационарном режиме, с.

Логарифмируя уравнение (8), получим выражение для определения времени наступления развитого пожара

$$\tau_n = \frac{T_0}{T_n v} \ln\left(\frac{T_n - T_0}{0,1T_0}\right). \quad (9)$$

В качестве примера определим температуру в зоне горения и время наступления полностью развитого пожара при следующих исходных данных: средняя скорость воздуха $\tilde{u} = 1$ м/с; начальная концентрация оксида углерода – следы при $\tau_1 = 0$ мин; при $\tau_2 = 5$ мин концентрация диоксида углерода составляет $\text{CO}_2 = 4$ %, а оксида углерода $\text{CO} = 1$ %. Принимаем начальную температуру $T_0 = 293$ К, а $T_1 = T_0$.

Тогда значение температуры в зоне горения при τ_2 по формуле (4) будет равно

$$T_2 = 293 + \frac{62,5(4 + 1/2)}{1 + 0,25} = 518 \text{ К.}$$

Определим по формуле (4) максимальную температуру в зоне горения, исходя из условия $\text{CO}_2 + 0,5\text{CO} = 20\%$:

$$T_n = 293 + \frac{62,5 \cdot 20}{1 + 0,25} = 1293 \text{ К.}$$

По формуле (5) определим показатель скорости развития пожара

$$v = \frac{293/1293}{5-0} \ln\left(\frac{1293/293-1}{1293/518-1}\right) = 0,037 \text{ мин}^{-1}$$

и находим время наступления полностью развитого пожара

$$\tau_n = \frac{293}{1293 \cdot 0,037} \ln\left(\frac{1293-293}{0,1 \cdot 293}\right) = 22 \text{ мин.}$$

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Предложен метод оценки температуры в горных выработках шахт по концентрациям пожарных газов, отличающийся от известных возможностью прогнозирования температуры по мониторингу концентраций оксида углерода, а также определения скорости распространения очага пожара с учетом термического расширения газов.

Перспективное направление дальнейших научных работ – исследование процессов теплообмена пожарных газов в трехмерном виде с учетом стока тепла, поглощения и осаждения пожарных газов на стенках тупиковых выработок и выемочных участков шахт.

Список литературы / References

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

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

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

Golik, A. S., Tokarev, O. S. *Sistema monitoringa atmosfery lokalnykh obyektov (SMALO) dlya gazovogo kontrolya gornospasatelyami v avariynykh 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)

3. Tube bundle system for monitoring of coal mine atmosphere / NCBI: PMC US National Library of Medicine National Institutes of Health. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4545479/> (дата обращения: 01.07.2024). (In English)

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

Medvedev, V. N. *Razvitie nauchnykh osnov i sovershenstvovanie praktiki monitoringa sodержaniya metana v rudnichnoy atmosfere : dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk* [Development of scientific principles and improvement of practice of methane content monitoring in mine atmosphere : 05.26.01 “Labour safety (technical sciences)” specialty : Doctor of Technical Sciences dissertation / Medvedev Valeriy Nikolayevich]. Makeyevka, 2013, 330 p. Place of thesis defence : MakNII. (In Russian)

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

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

6. 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)

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

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

8. Кошовский, Б. И. Контроль состояния изолированного подземного пожара / Б. И. Кошовский, Г. Б. Тында, Я. Я. Цыганкевич // Горноспасательное дело. – 2004. – № 41. – С. 58–61.

Koshovskiy, B. I., Tynda, G. B., Tsygankevich, Ya. Ya. *Kontrol sostoyaniya izolirovannogo podzemnogo pozhara* [Monitoring the state of an isolated underground fire]. *Gornospasatelnoe delo*, 2004, no. 41, pp. 58-61. (In Russian)

9. Греков, С. П. Теплофизические процессы в горных выработках при экзогенных пожарах / С. П. Греков, С. Н. Смоланов, Н. С. Почтаренко, А.А. Березовский // Горноспасательное дело. – 2000. – № 37. – С. 39–46.

Grekov, S. P., Smolanov, S. N., Pochtarenko, N. S., Berezovsky, A. A. *Teplofizicheskie protsessy v gornyh vyrabotkah pri ekzogennyh pozharah* [Thermophysical processes in mine workings during exogenous fires]. *Gornospasatelnoe delo*, 2000, no. 37, pp. 39-46. (In Russian)

10. Симонов, А. М. Экспериментальные исследования дистанционного контроля шахтной среды в условиях штольни и подземного полигона / А. М. Симонов, А. В. Агарков // Вестник Академии гражданской защиты. – 2021. – № 2 (26). – С. 74–83.

Simonov, A. M., Agarkov, A. V. *Eksperimentalnye issledovaniya distancionnogo kontrolya shakhtnoj sredy v usloviyakh shtolni i podzemnogo poligona* [Experimental studies of remote monitoring of the mine environment in adits and underground landfills]. *Vestnik Akademii grazhdanskoj zashchity*, 2021, no. 2 (26), pp. 74-83. (In Russian)

11. Кравченко, Н. М. Расчет концентрации метана в сети горных выработок с учетом влияния встречных газовых потоков / Н. М. Кравченко, М. В. Кравченко // Горноспасательное дело. – 2013. – № 50. – С. 44–49.

Kravchenko, N. M., Kravchenko, M. V. *Raschyot koncentracii metana v seti gornyh vyrabotok s uchyotom vliyaniya vstrechnyh gazovyh potokov* [Calculation of methane concentration in a network of mine workings taking into account the influence of counter gas flows]. *Gornospasatelnoe delo*, 2013, no. 50, pp. 44-49. (In Russian)

Valery Vladimirovich Mamayev, Dr. Sci. (Tech.), senior scientific researcher;

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

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

e-mail: aleksander_agarkov@mail.ru;

Dmitry Sergeevich Buryak, senior scientific associate; e-mail: buryak_ds@mail.ru;

Igor Feliksovich Dikenshtein, scientific. coll.; e-mail: 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

METHOD OF ASSESSING TEMPERATURE IN MINING WORKINGS BASED ON FIRE GASES CONCENTRATIONS

Purpose. To study heat and mass transfer processes and develop a method for assessing the temperature in mine workings based on fire gas concentrations during emergency rescue operations.

Methods. A comprehensive method was used, including an analysis of the theoretical studies conducted, a comparison of the results obtained with experimental data, as well as methods of mathematical statistics for processing the research results.

Results. The dependences of temperature on air velocity in mine workings at different concentrations of carbon monoxide have been established, a method for estimating temperature based on concentrations of fire gases has been developed, and an example of calculating the expected temperature in the combustion zone and the rate of fire spread in the emergency section of the mine is presented.

Scientific novelty. A method has been developed for assessing the temperature in mine workings based on concentrations of fire gases, which differs from known methods by the ability to predict the temperature based on monitoring carbon monoxide concentrations, as well as to determine the rate of spread of a fire, taking into account the thermal expansion of gases.

Practical value. The results of the research allow us to estimate the temperature in mine workings based on the concentrations of fire gases in order to develop scientifically based recommendations for their use by mine rescue units during emergency rescue operations in coal mines.

Keywords: *coal mine; mine workings; concentration of fire gases; heat and mass transfer processes; assessment method.*

For citation. Mamayev V. V., Agarkov Al. V., Buryak D. S., Dikenshtein I. F. Method for assessing temperature in mine workings by concentrations of fire gases. *Nauchnyy vestnik NII “Respirator”*, 2024, no. 3(61), pp. 15-23. EDN AMPKKB.

УДК [622.868.3:622.41]:001.891.572

Александр Михайлович Симонов, нач. отд.; e-mail: simonov54_54@mail.ru;

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

Андрей Викторович Ивахненко, инж. II кат.; e-mail: andrey_ivahnenko@mail.ru

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

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

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРЕХОДНОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В ИЗОЛИРОВАННОМ ПОЖАРНОМ УЧАСТКЕ ШАХТЫ

Цель. Теоретические исследования продолжительности переходного газодинамического процесса в изолированном пожарном участке шахты при закорачивании и реверсировании вентиляционной струи для прогнозирования безопасного времени выполнения аварийно-спасательных работ.

Методы. Информационно-аналитические исследования, включающие анализ литературных источников, проведение теоретических исследований и сравнение результатов с данными, полученными эмпирическим методом.

Результаты. Проанализирован переходной газодинамический процесс в изолированном пожарном участке шахты в зависимости от расхода воздуха, объема выработанного пространства и величины депрессии, воздействующей на аварийный участок.

Научная новизна. Впервые предложены зависимости для определения времени переходного газодинамического процесса в изолированном пожарном участке шахты при выполнении аварийно-спасательных работ горноспасательными подразделениями.

Практическая значимость. Полученные зависимости позволяют спрогнозировать время переходного газодинамического процесса в изолированном пожарном участке шахты, что будет способствовать повышению безопасности горноспасателей при выполнении аварийно-спасательных работ.

Ключевые слова: *газодинамический процесс; изолированный участок; переходной период; изолирующая перемычка; аэродинамическое сопротивление; депрессия; шахта; пожар.*

Для цитирования: *Симонов А. М., Мавроди А. В., Ивахненко А. В. Продолжительность переходного газодинамического процесса в изолированном пожарном участке шахты // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 3(61). – С. 24–31. EDN AVLDQK.*

Постановка проблемы. Угольная промышленность остается одной из основных отраслей экономики и топливно-энергетического комплекса многих стран. Вместе с тем добыча полезного ископаемого зачастую сопровождается возникновением аварий техногенного характера с большими убытками для предприятия. Наиболее опасными авариями на угольных шахтах Донбасса остаются подземные пожары, которые в среднем составляют 27 % от общего количества произошедших аварий на шахтах ДНР за последние 10 лет.

В случае неудачного тушения подземного пожара активным способом на газовых шахтах применяют изолирующие взрывоустойчивые перемычки (рис. 1).

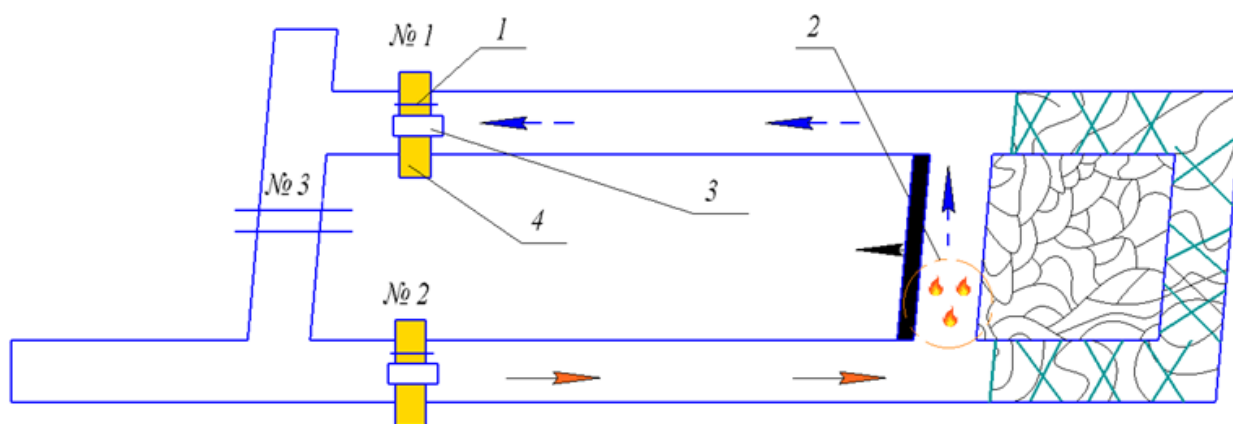


Рис. 1. Схема изолированного пожарного участка

1 – труба для контроля газовой обстановки в изолированном пожарном участке;
2 – очаг пожара; 3 – проемные трубы; 4 – взрывоустойчивая изолирующая перемычка

Такой метод тушения подземного пожара – сложный процесс, так как при ведении аварийно-спасательных работ и изменении расхода воздуха в изолированном участке происходит переходной газодинамический процесс. Продолжительность такого процесса может зависеть от размеров изолированной площади, сопротивления перемычек, объема выработанного пространства и других факторов. В результате повышения содержания объемной доли кислорода (более 8,0 %) в изолированном участке образуется взрывоопасная газоздушная смесь, что может привести к взрыву с трагическими последствиями [1–3].

Следовательно, определение продолжительности переходного газодинамического процесса в изолированном пожарном участке шахты при применении вентиляционных маневров для безопасного выполнения аварийно-спасательных работ – важная и актуальная задача в настоящее время.

Анализ публикаций. Проведенный анализ литературных источников [1–5] показал, что газодинамические процессы в изолированных пожарных участках недостаточно исследованы и не в полной мере отражены в нормативно-технической документации, что не позволяет достоверно спрогнозировать газовую обстановку в ходе ведения аварийно-спасательных работ подразделениями ВГСЧ.

При этом практика показала, что закрытие проемов в изолирующих перемычках не позволяет поддерживать необходимый для тушения пожара уровень кислорода и возникает необходимость выполнения дополнительного объема работ по «снятию» депрессии из изолированного участка [3]. Согласно действующим нормативным документам, запрещено ведение подземных работ в шахте при превышении объемной доли метана в выработке более 2,0 %. Поэтому необходимо заранее знать продолжительность переходного газодинамического процесса в изолированном участке и время формирования опасной газовой обстановки.

Цель работы – теоретические исследования продолжительности переходного газодинамического процесса в изолированном пожарном участке шахты при закорачивании и реверсировании вентиляционной струи для прогнозирования безопасного времени выполнения аварийно-спасательных работ.

Изложение результатов исследований. Для предотвращения взрывов в изолированных пожарных участках необходимо иметь возможность прогнозировать происходящие в них процессы, чтобы своевременно корректировать параметры, влияющие на газовую обстановку.

С этой целью воспользуемся математическим моделированием исследуемого объекта и применим дифференциальное уравнение, описывающее движение газовых потоков [6, 7],

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} = -\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\lambda}{2d} \rho u^2, \quad (1)$$

где ρ – плотность рудничной атмосферы в изолированном участке шахты, кг/м³;
 $u = u(x, \tau)$ – скорость вентиляционной струи в изолированной выработке, м/с;
 $P = P(x, \tau)$ – давление воздуха в изолированном участке шахты, Па;
 λ – коэффициент аэродинамического сопротивления;
 d – приведенный диаметр выработок участка, м;
 x – пространственная координата по длине исследуемой выработки, м;
 τ – время с момента изоляции или изменения параметров проветривания аварийного участка, с.

Во время подземного пожара происходит снижение плотности шахтного воздуха из-за его нагрева. Данные изменения компенсируют друг друга тем, что произведение температуры воздуха на его плотность остается постоянным значением [6]

$$\rho T = \rho_0 T_0, \quad (2)$$

где T – средняя температура воздуха в изолированном участке, К;
 T_0 – температура воздуха в шахте при нормальных условиях, К;
 ρ_0 – плотность воздуха в шахте при нормальных условиях, кг/м³.

Пренебрегая кинетической энергией в левой части уравнения (1) и вводя в рассмотрение массовую скорость воздуха, с учетом уравнения (2), получим

$$\frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tau} = -\frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\lambda}{2d} \cdot \frac{T}{T_0} \tilde{u}^2, \quad (3)$$

где $\tilde{u} = \rho u / \rho_0$ – массовая скорость воздуха, м/с.

Градиент давления в уравнении (3) представим методом конечных разностей

$$\frac{\partial P}{\partial x} \approx \frac{P - P_0}{\Delta x} = -\frac{h}{L}, \quad (4)$$

где P_0 – атмосферное давление воздуха в шахте, Па;

h – депрессия, создаваемая вентиляторной установкой и приложенная к изолированному участку, Па;

L – длина изолированного участка, м.

Подставляя выражение (3) в уравнение (4), получим

$$\frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tau} = \frac{h}{\rho_0 L} - \frac{\lambda}{2d} \frac{T}{T_0} \tilde{u}^2. \quad (5)$$

Диаметр выработок участка можно выразить через их периметр и площадь поперечного сечения. С учетом этого уравнение (5) примет вид

$$\frac{\rho_0 L}{S} \frac{\partial Q}{\partial \tau} = h - R \frac{T}{T_0} Q^2, \quad (6)$$

где Q – массовый расход воздуха в изолированном участке, м³/с;

R – аэродинамическое сопротивление горной выработки, Па·с²/м⁶;

S – площадь поперечного сечения выработки, м².

Выделяя из уравнения (6) стационарную часть его решения, можно определить расход воздуха в изолированном участке при изменении параметров проветривания

$$Q_1 = \operatorname{sgn} \left(h_1 \sqrt{\frac{|h_1|}{RT / T_0}} \right), \quad (7)$$

где Q_1 – расход воздуха в изолированном участке при изменении режима проветривания, м/с;

h_1 – депрессия, действующая на изолированный участок при изменении параметров проветривания, Па.

Расход воздуха в аварийном участке зависит от величины приложенной депрессии, утечек воздуха и направления вентиляционной струи. Поэтому в нормальном режиме проветривания шахты расход воздуха в изолированном участке Q_0 можно определить также с помощью формулы (7)

$$Q_0 = \operatorname{sgn} \left(h \sqrt{\frac{|h|}{RT / T_0}} \right). \quad (8)$$

Для получения аналитического решения представим уравнение (6) в следующем виде:

$$\frac{\rho_0 L}{S} \frac{\partial Q}{\partial \tau} = h - R \frac{T}{T_0} \sum_{i=1}^n Q_i \frac{Q}{2}, \quad (9)$$

где n – количество применяемых режимов проветривания, $n = 2$;

Q_i – расход воздуха в i -й выработке изолированного участка, м³/с.

В результате интегрирования уравнения (9) найдем зависимость расхода воздуха в изолированном участке от времени при переходном газодинамическом процессе $Q(\tau)$

$$Q(\tau) = Q_1 + (Q_0 - Q_1) \exp\left(-\frac{RS}{2\rho_0 L} \frac{T}{T_0} \sum_{i=1}^n Q_i \tau\right). \quad (10)$$

Представим полученную формулу (10) в безразмерном виде

$$\bar{Q}(\tau) = \bar{Q}_1 + (1 - \bar{Q}_1) e^{-\bar{\tau}}, \quad (11)$$

где \bar{Q}_1 – относительный расход воздуха после изменения режима проветривания

в изолированном участке, $\bar{Q} = Q_1 / Q_0$;

$\bar{\tau}$ – безразмерное время с момента изменения режима проветривания.

Параметр $\bar{\tau}$ можно представить в следующем виде:

$$\bar{\tau} = \frac{RS}{2\rho_0 L} \frac{T}{T_0} \sum_{i=1}^n Q_i \tau. \quad (12)$$

Результаты моделирования параметров переходного газодинамического процесса при изменении расхода воздуха в изолированном участке шахты представлены на рисунке 2.

Предполагается, что при закорачивании вентиляционной струи расход воздуха уменьшается в 10 раз, а при реверсировании вентиляционной струи уменьшается в 2 раза.

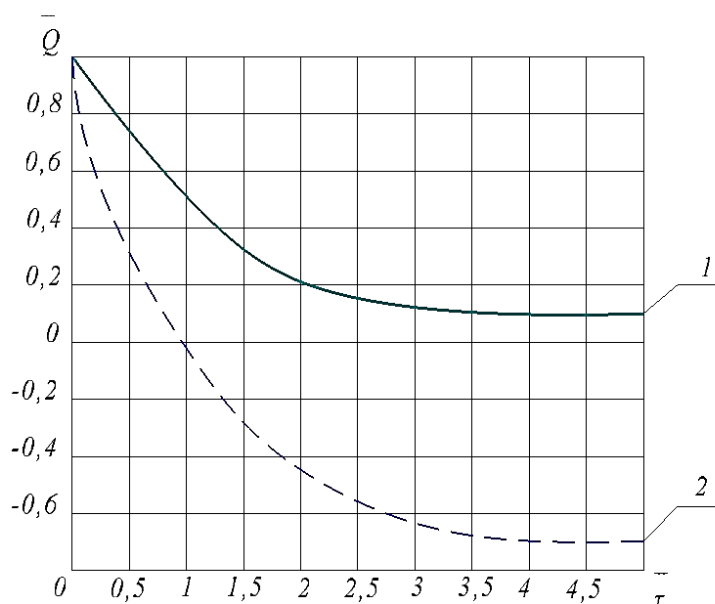


Рис. 2. Переходный газодинамический процесс в изолированном участке при изменении параметров проветривания:

1 – при закорачивании вентиляционной струи; 2 – при реверсировании вентиляционной струи

Очевидно, при $\bar{\tau} = 4$ переходный газодинамический процесс завершается, что позволяет определить его время, если известны все исходные данные. Например, известны первоначальный и конечный расходы воздуха в изолированном пожарном участке шахты $Q_0 = 10 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q_1 = 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$, аэродинамическое сопротивление участка $R = 1,0 \text{ Па}\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$, длина выработки участка $L = 1000 \text{ м}$ и площадь поперечного сечения $S = 10 \text{ м}^2$, тогда время установления нового режима проветривания составит $\tau = 87 \text{ с}$. Если уменьшать аэродинамическое сопротивление, то время будет увеличиваться до 5 мин, а при увеличении аэродинамического сопротивления – уменьшаться, что согласовывается с ранее проведенными экспериментальными исследованиями [8].

Выводы. В ходе проведенных исследований установлены зависимости, учитывающие влияние горнотехнических параметров и описывающие продолжительность переходного газодинамического процесса в изолированном пожарном участке шахты от изменения в нем расхода воздуха. Это позволит прогнозировать безопасное время для выполнения необходимых вентиляционных маневров при выполнении аварийно-спасательных работ и повысить безопасность горноспасателей.

Список литературы / References

1. Перехрест, Ю. Н. Аэрогазодинамика изолированных пожарных участков / Ю. Н. Перехрест // Горноспасательное дело. – 2014. – № 51. – С. 152–157.

Perehrest, Yu. N. *Aerogasodinamika izolirovannykh pozharnykh uchastkov* [Aerogasodynamics of isolated fire stations]. *Gornospasatelnoye delo*, 2014, no. 51, pp. 152-157. (In Russian)

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

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

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

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

4. Агеев, В. Г. Управление вентиляцией при изоляции подземных пожаров / В. Г. Агеев // Уголь Украины. – 2012. – № 11. – С. 28–30.

Ageyev, V. G. *Upravleniye ventilyatsiyey pri izolyatsii podzemnykh pozharov* [Ventilation control during isolation of underground fires]. *Ugol Ukrainy*, 2012, no. 11, pp. 28-30. (In Russian)

5. Моделирование газодинамических процессов при изоляции выработок аварийных участков с использованием гидрозатворов / Ю. М. Говорухин, В. Г. Криволапов, М. Г. Коряга, Д. Ю. Палеев // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2020. – № 6. – С. 376–380.

Govorukhin, Yu. M., Krivolapov, V. G., Koryaga, M. G., Paleev, D. Yu. *Modelirovaniye gasodinamicheskikh protsessov pri izolyatsii vyrabotok avariynykh uchastkov s ispolzovaniyem gidrozatvorov* [Modeling of gas dynamic processes in the isolation of workings of emergency sites using hydraulic locks]. *Naukoemkiye technologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov*, 2020, no. 6, pp. 376-380. (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 2nd edition, revised and supplemented]. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy gornyy universitet Press, 2004, 481 p. (In Russian)

7. Молчанов, А. М. Термофизика и динамика жидкости и газа. Специальные главы / А. М. Молчанов. – Москва, 2019. – 152 с.

Molchanov, A. M. *Termofizika i dinamika zhidkosti i gasa. Specialnyye glavy* [Thermophysics and dynamics of liquid and gas. Special chapters]. Moscow, 2019. 152 p. (In Russian)

8. Агарков, А. В. Параметры усовершенствованной системы дистанционного контроля газовой обстановки при ликвидации пожаров в угольных шахтах / А. В. Агарков // Сибирский пожарноспасательный вестник. – 2021. – № 1(20). – С. 26–33.

Agarkov, A. V. *Parametry usovershenstvovannoy sistemy distantsionnogo kontrolya gasovoy obstanovki pri likvidatsii pozharov v ugolnykh shakhtakh* [Parameters of an improved system for remote control of the gas situation during the elimination of fires in coal mines]. *Sibirskiy pozharnospasatelnyy vestnik*, 2021, no. 1(20), pp. 26-33. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. Г. Агеевым
Дата поступления рукописи 10.07.2024
Дата опубликования 19.09.2024

Aleksandr Mikhailovich Simonov, head of department; e-mail: simonov54_54@mail.ru;
Aleksandr Viktorovich Mavrodi, Cand. Sci. (Tech.), senior scientific associate; e-mail: mavrodi-av@mail.ru;
Andrey Viktorovich Ivakhnenko, engineer of the 2nd category; e-mail: andrey_ivahnenko@mail.ru
Federal State Institution “The Scientific Research Institute “Respirator” EMERCOM of Russia”
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-34

THE DURATION OF THE TRANSIENT GAS DYNAMIC PROCESS IN AN ISOLATED FIRE SECTION OF THE MINE

Objective. Theoretical studies of the duration of the transient gas dynamic process in an isolated fire section of the mine during shorting and reversing of the ventilation jet to predict the safe time of emergency rescue operations.

Methods. Information and analytical research, including the analysis of literary sources, conducting theoretical research and comparing the results with the data obtained by the empirical method.

Results. The transient gas dynamic process in an isolated fire section of the mine is analyzed depending on the air flow rate, the volume of the developed space and the magnitude of the depression affecting the emergency area.

Scientific novelty. For the first time, dependencies are proposed for determining the time of the transient gas dynamic process in an isolated fire section of a mine when performing emergency rescue operations by mining rescue units.

Practical value. The obtained dependences make it possible to predict the time of the transient gas dynamic process in an isolated fire section of the mine, which will contribute to improving the safety of rescuers during emergency rescue operations.

Keywords: *gas dynamic process; isolated area; transition period; insulating jumper; aerodynamic drag; depression; mine; fire.*

For citation: Simonov A.M., Mavrodi A.V., Ivakhnenko A.V. Duration of the transient gas dynamic process in an isolated fire section of the mine. *Nauchnyy vestnik NII “Respirator”*, 2024, № 3(61), pp. 24–31. EDN AVLDQK.

УДК 614.842.612

Виктория Валентиновна Лебедева, нач. отд.; e-mail: v.lebedeva@80.mchs.gov.ru;

Максим Константинович Томилов, инж.; e-mail: 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 ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ИХ ОГNETУШАЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

Цель. Обоснование огнетушащей способности водных композиций, модифицированных разработанными добавками, путем установления зависимостей влияния их физических свойств на эффективность тушения модельного очага пожара в лабораторных условиях.

Методы. Стандартные методы по определению плотности и вязкости водных композиций, лабораторные методы определения коэффициента поверхностного натяжения и огнетушащей способности водных композиций.

Результаты. Исследовано влияние физических свойств водных композиций, которые содержат разработанные добавки, на их огнетушащую способность. Показана возможность управления свойствами разработанной огнетушащей композиции при помощи введения в ее состав химических модификаторов. Установлены зависимости влияния плотности, вязкости, поверхностного натяжения модифицированных водных композиций на эффективность тушения модельного очага пожара в лабораторных условиях.

Научная новизна. Разработана рецептура добавки, повышающая огнетушащую способность воды в 3,5 раза и отличающаяся от известных улучшенными физическими свойствами. Впервые установлены зависимости огнетушащей способности композиций на основе разработанного состава химических добавок к воде от их плотности, кинематической, динамической вязкости и поверхностного натяжения.

Практическая значимость. Разработанные методика и лабораторная установка могут быть использованы для экспериментальной оценки эффективности тушения модельных очагов пожара водными композициями.

Ключевые слова: *пожарная безопасность; огнетушащая способность; вязкость композиции; плотность композиции; поверхностное натяжение.*

Для цитирования: *Лебедева В. В., Томилов М. К. Влияние физических свойств водных композиций на их огнетушащую способность // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 3(61). – С. 32–40. EDN CDJZVJ.*

Постановка проблемы. Сочетание свойств, обуславливающих достоинства воды как огнетушащего средства, позволяет отнести воду к наиболее распространенным средствам тушения пожаров. Но в то же время вода отличается плохой смачиваемостью поверхностей и низкой вязкостью, что обуславливает слабые адгезионные свойства и приводит к повышению ее расхода при ликвидации пожара [1]. С целью повышения огнетушащей способности воду модифицируют специальными химическими добавками, улучшающими ее физические свойства. В настоящее время научные исследования по созданию и применению новых огнетушащих веществ, влиянию их физических свойств на огнетушащую способность воды продолжают оставаться актуальными.

Анализ последних исследований. Целесообразность введения в огнетушащие составы неорганических модификаторов, а также их влияние на физико-химические свойства и огнетушащую способность воды подробно описаны в работах [2–6]. Критический анализ существующей научной проблемы определил **цель настоящего исследования** – экспериментальное обоснование огнетушащей способности водных композиций, модифицированных разработанными добавками, путем установления зависимостей влияния их физических свойств на эффективность тушения модельного очага пожара в лабораторных условиях.

Методика эксперимента. Определение плотности водных композиций осуществляли в соответствии с ГОСТ 18995.1–73 «Продукты химические жидкие. Методы определения плотности» и методикой, изложенной в работе [2]. Вязкость водных композиций определяли согласно ГОСТ 33768–2015 «Метод определения кинематической вязкости и расчет динамической вязкости прозрачных и непрозрачных жидкостей» с использованием вискозиметра ВПЖ-2 с диаметром капилляра 0,56 мм и постоянной вискозиметра 0,0104 мм²·с⁻².

Кинематический коэффициент вязкости исследуемых композиций ν , м²·с, рассчитывали по формуле

$$\nu = \frac{g}{g_n} \tau K, \quad (1)$$

где g_n – стандартное ускорение свободного падения, м·с⁻²;

g – ускорение свободного падения в месте измерений, м·с⁻²;

τ – время истечения композиции, с;

K – постоянная вискозиметра, м²·с⁻².

Так как значение g отличается от $g_n = 9,807$ м·с⁻² не более чем на 0,1 %, при расчете кинематической вязкости по формуле (1) отношение (g/g_n) принимали равным единице.

Динамический коэффициент вязкости η , мПа·с, определяли по формуле

$$\eta = \nu \rho \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где ρ – плотность композиции, кг·м⁻³.

В настоящей работе определение коэффициента поверхностного натяжения водных композиций проводили методом измерения краевого угла смачивания по проекции капли на экран, при этом контур проекции максимально точно обводили на экране или фотографировали [7, 8]. Изображение проекции капли получали при помощи фильмоскопа модификации «МФ-80 Огонек», кратность увеличения которого определяли экспериментально.

При фиксированной температуре воздуха лабораторного помещения коэффициент поверхностного натяжения σ , Н·м⁻¹, композиции вычисляли по уравнению Квинке

$$\sigma = \frac{g\rho h^2}{2 + (1 + \cos\theta)}, \quad (3)$$

где h – высота капли, м;

$\cos\theta$ – косинус краевого угла смачивания.

Для более точной оценки влияния коэффициента поверхностного натяжения на физические свойства водных композиций целесообразно было дополнительно провести определение коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва капле, согласно которому коэффициент вычисляли по формуле [3, 4]

$$\sigma_1 = \sigma_0 \frac{\rho_1 n_0}{\rho_0 n_1}, \quad (4)$$

где σ_1 – коэффициент поверхностного натяжения композиции, Н·м⁻¹;

σ_0 – коэффициент поверхностного натяжения воды Н·м⁻¹;

ρ_1 – плотность композиции, кг·м⁻³;

ρ_0 – плотность воды, кг·м⁻³;

n_1 – число капель композиции, шт.;

n_0 – число капель воды, шт.

Методика экспериментальной оценки огнетушащей способности водных композиций на лабораторной установке приведена в работе [9].

Результаты исследования. Исследование и оценку влияния физических свойств водных композиций на огнетушащую способность проводили для технической воды без модифицирующих добавок, а также для составов с постоянной массовой концентрацией жидкого стекла (10 масс. %) и сульфатом калия в диапазоне массовых концентраций 3...7 масс. % (табл.).

Подобный выбор объектов исследования и их содержание в композициях обусловлены результатами предыдущих исследований [9].

На основании результатов экспериментальных исследований построена зависимость огнетушащей эффективности от плотности водных композиций с различным содержанием сульфата калия (рис. 1).

Таблица

Рецептуры водных огнетушащих композиций

Номер композиции	Состав водной композиции, масс. %		
	жидкое стекло	сульфат калия	вода
1	–	–	100
2	10	3	87
3	10	4	86
4	10	5	85
5	10	6	84
6	10	7	83

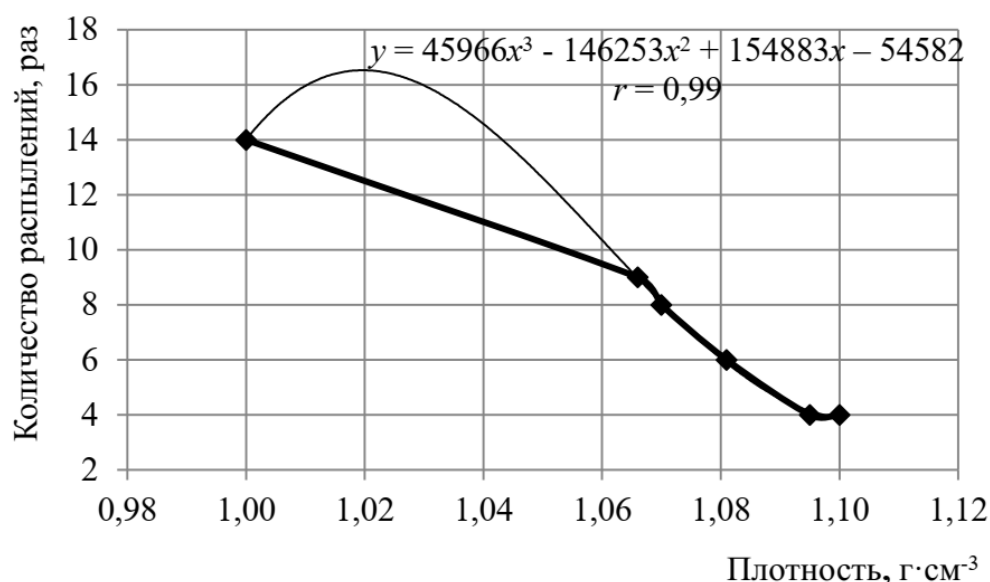


Рис. 1. Зависимость огнетушащей эффективности от плотности водных композиций с различным содержанием сульфата калия

Экспериментальные значения аппроксимированы полиномиальной зависимостью третьего порядка ($r = 0,99$). С увеличением плотности водной композиции ее огнетушащая эффективность возрастает (рис. 1). Это объясняется тем, что повышение плотности способствует увеличению кинетической энергии движения струи огнетушащего раствора по сравнению с энергией струи воды, направленной в очаг горения с одинаковой скоростью. Дальность полета струи раствора при этом также увеличивается, что повышает качество тушения пожара.

Данные эксперимента позволили установить зависимость огнетушащей эффективности водных композиций с различным содержанием сульфата калия от коэффициента динамической вязкости растворов (рис. 2).

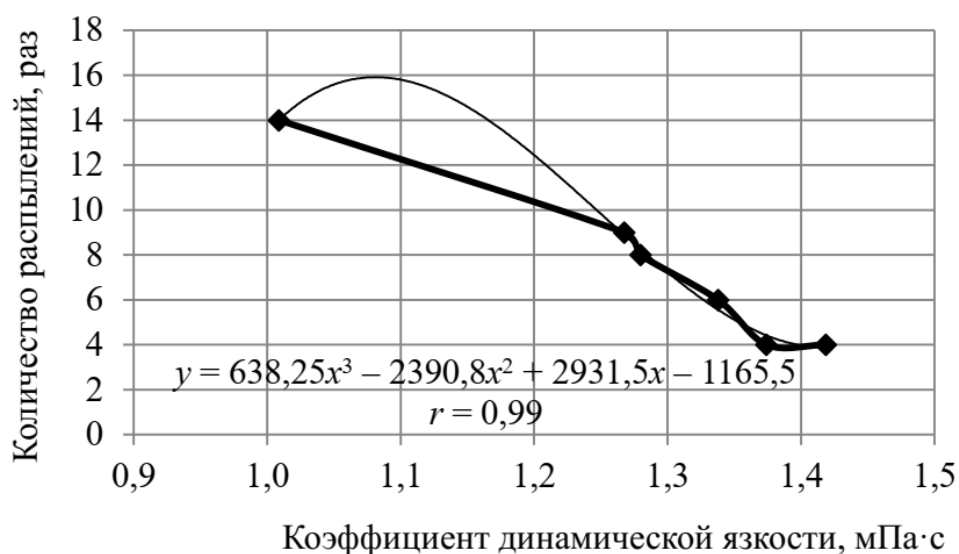


Рис. 2. Зависимость огнетушащей эффективности от коэффициента динамической вязкости водных композиций с различным содержанием сульфата калия

Как показали результаты экспериментальных исследований, огнетушащая эффективность возрастает с повышением значения коэффициента динамической вязкости водной композиции. С ростом вязкости увеличивается время стекания огнетушащей жидкости по вертикальным поверхностям, что, в свою очередь, повышает эффективность тушения очага пожара.

Установлена зависимость огнетушащей эффективности от коэффициента поверхностного натяжения (определенного методом проекции капель) водных композиций с различным содержанием сульфата калия (рис. 3).

На основании результатов экспериментальных исследований можно сделать вывод, что с уменьшением коэффициента поверхностного натяжения огнетушащая эффективность водного раствора увеличивается. Разброс результатов экспериментов объясняется невысокой точностью метода проекции капель. Для более точной оценки влияния поверхностного натяжения на огнетушащую эффективность водных композиций дополнительно проведены эксперименты с применением метода отрыва капель. Результаты исследований, полученные этим методом, подтвердили данные предыдущих исследований – с увеличением содержания сульфата калия в водной композиции коэффициент поверхностного натяжения снижается в 1,8 раза, по сравнению со значением поверхностного натяжения технической воды.

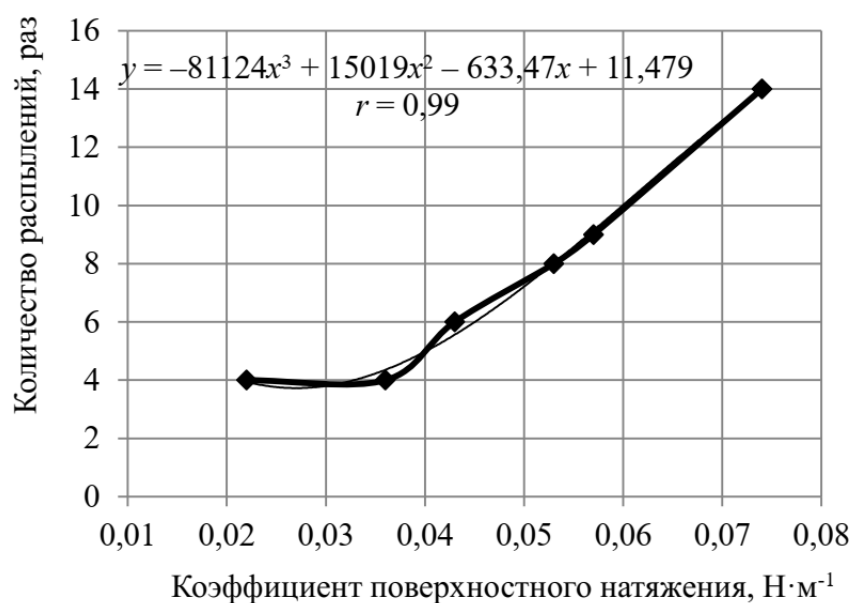


Рис. 3. Зависимость огнетушащей эффективности водных композиций с различным содержанием сульфата калия от коэффициента поверхностного натяжения, определенного методом проекции капель

Установлена зависимость огнетушащей эффективности водных композиций с различным содержанием сульфата калия от коэффициента поверхностного натяжения, определенного методом отрыва капель (рис. 4).

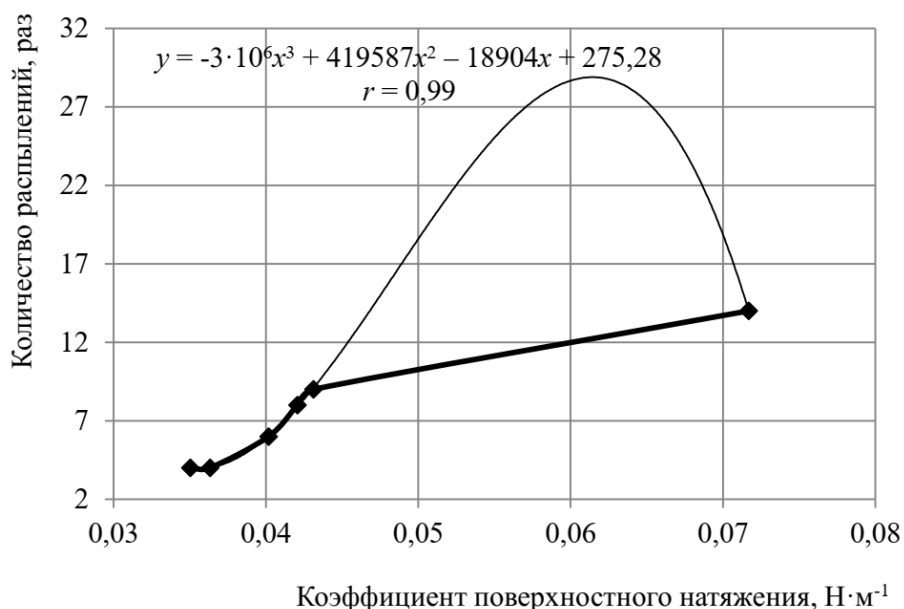


Рис. 4. Зависимость огнетушащей эффективности водных композиций с различным содержанием сульфата калия от коэффициента поверхностного натяжения водных растворов, определенного методом отрыва капель

С уменьшением коэффициента поверхностного натяжения огнетушащая эффективность водной композиции увеличивается (см. рис. 4). Следует отметить, что для серии экспериментов методом отрыва капель получена погрешность измерений (1,098 %) меньшая, чем для метода проекции капель (5,556 %). В итоге оба экспериментальных метода одинаково показали снижение коэффициента поверхностного натяжения в 1,8...2 раза с увеличением содержания в композиции сульфата калия от 3 до 7 масс. %.

Вывод. Установлены зависимости огнетушащей способности композиций с концентрацией жидкого стекла (10 масс. %) и сульфата калия (3...7 масс. %) от плотности, коэффициента кинематической и динамической вязкости и коэффициента поверхностного натяжения водного раствора.

Таким образом, огнетушащая эффективность повышается с увеличением плотности, коэффициента динамической и кинематической вязкости и уменьшением поверхностного натяжения водных композиций.

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 tonkoraspylennoy vodoy. Zarubezhnyy opyt* [Stages of development of an automatic fire extinguishing system with thinly sprayed water. Foreign experience]. *Theoriya i practica sovremennoy nauki*, 2020, vol. 2(56), pp. 78-81. (In Russian)

2. Влияние вязкости огнетушащего раствора на эффективность тушения лесных пожаров с помощью авиации / Н. П. Копылов, Е. А. Москвиллин, Д. В. Федоткин, П. А. Стрижак // Лесотехнический журнал. – 2016. – № 4. – С. 62–67.

Kopylov, N. P., Moskvilin, E. A., Fedotkin, D. V., Strizhak, P. A. *Vliyaniye vyazkosti ogetushashchego rastvora na effektivnost tusheniya lesnykh pozharov s pomoshch'yu aviatsii* [The effect of the viscosity of the extinguishing solution on the effectiveness of extinguishing forest fires using aviation]. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, 2016, vol. 4, pp. 62-67. (In Russian)

3. Рогоза, О. В. Определение поверхностного натяжения жидкости капель / О. В. Рогоза. – Челябинск : ГБПОУ «ЧелКИТ «Профи» им. Я. П. Осадчего», 2016. – 5 с.

Rogozha, O. V. *Opredeleniye poverkhnostnogo natyazheniya zhidkosti kapel* [Determination of the surface tension of liquid droplets]. Chelyabinsk: State budgetary professional educational institution «Chelyabinsk College of Industrial Technologies «Profi» named after Ya. P. Osadchy», 2016. 5 p. (In Russian)

4. Метальников, М. А. Создание учебной конструкции по измерению коэффициента поверхностного натяжения жидкости для лабораторных работ по физике / М. А. Метальников. – Пенза : МБОУ СОШ, 2021. – 18 с.

Metalnikov, M. A. *Sozdaniye uchebnoy konstruksii po izmereniyu koeffitsiyenta poverkhnostnogo natyazheniya zhidkosti dlya laboratornykh rabot po fizike* [Creation of a training structure for measuring the surface tension coefficient of a liquid for laboratory work in physics] / M. A. Metalnikov. Penza: Municipal budgetary educational institution Secondary school, 2021. – 18 p. (In Russian)

5. Копылов, Н. П. Повышение эффективности тушения лесных пожаров с использованием добавок к воде / Н. П. Копылов // Пожарная безопасность. – 2015. – № 4. – С. 46–50.

Kopylov, N. P. *Povysheniye effektivnosti tusheniya lesnykh pozharov s ispolzovaniyem dobavok k vode* [Improving the efficiency of extinguishing forest fires using water additives]. *Pozharnaya bezopasnost*, 2015, vol. 4, pp. 46-50. (In Russian)

6. Выбор добавок к воде при тушении лесных пожаров авиационным способом / Н. П. Копылов, А. Е. Кузнецов, В. Н. Карпов, Е. Ю. Сушкина // Актуальные вопросы пожарной безопасности. – 2019. – № 1(1). – С. 9–13.

Kopylov, N. P., Kuznetsov, A. E., Karpov, V. N., Sushkina, E. Y. *Vybor dobavok k vode pri tushenii lesnykh pozharov aviatsionnym sposobom* [The choice of additives to water when extinguishing forest fires by aviation method]. *Aktualnye voprosy pozharной bezopasnosti*, 2019, vol. 1(1), pp. 9-13. (In Russian)

7. Пономарева, М. А. Способ определения коэффициента поверхностного натяжения и угла смачивания по изображению капли / М. А. Пономарева, В. А. Якутенюк // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2011. – № 4(3). – С. 1048–1049.

Ponomareva, M. A., Yakutenok, V. A. *Sposob opredeleniya koeffitsiyenta poverkhnostnogo natyazheniya i ugla smachivaniya po izobrazheniyu kapli* [A method for determining the surface tension coefficient and wetting angle from the image of a drop]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo*, 2011, vol. 4(3), pp. 1048-1049. (In Russian)

8. Демин, В. А. Изучение механизма и процессов тушения пожаров компактными струями воды с различными добавками / В. А. Демин, И. Ю. Трояк, Е. Ю. Трояк // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции (г. Железногорск, 17 апреля 2015 г.) / сост. А. А. Мельник, А. Н. Батуро, А. Е. Давиденко, Ж. С. Калюжина. – Железногорск, 2015. – С. 80–82.

Demin, V. A., Troyak, I. Y., Troyak, E. Y. *Izucheniye mekhanizma i protsessov tusheniya pozharov kompaktnymi struyami vody s razlichnymi dobavkami* [Study of the mechanism and processes of extinguishing fires with compact jets of water with various additives]. *Young scientists in solving urgent security problems: Materials*

of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference. (Zheleznogorsk, April 17, 2015) / comp. A. A. Melnik, A. N. Batur, A. E. Davidenko, J. S. Kalyuzhina. Zheleznogorsk, 2015. Pp. 80-82. (In Russian)

9. Лебедева, В. В. Влияние антипиренов на повышение огнетушащей способности воды / В. В. Лебедева, М. К. Томилов // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 103–111

Lebedeva, V. V., Tomilov, M. K. *Vliyaniye antipirenov na povysheniye ognetchashchey sposobnosti vody* [The effect of flame retardants on increasing the extinguishing capacity of water]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, № 2(61), pp. 103-111. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 13.06.2024
Дата опубликования 19.09.2024

Viktoria Valentinovna Lebedeva, head of department; e-mail: v.lebedeva@80.mchs.gov.ru;
Maksim Konstantinovich Tomilov, engineer; e-mail: 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

THE EFFECT OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF AQUEOUS COMPOSITIONS ON THE FIRE EXTINGUISHING ABILITY

Objective. Substantiation of the fire extinguishing ability of aqueous compositions modified with the developed additives by establishing the dependences of the influence of their physical properties on the effectiveness of extinguishing a model fire source in laboratory conditions.

Methods. Standard methods for determining the density and viscosity of aqueous compositions, laboratory methods for determining the surface tension coefficient and fire extinguishing capacity of aqueous compositions.

Results. Using the influence of the physical properties of aqueous compositions containing the developed additives on the fire extinguishing ability has been studied. The possibility of controlling the properties of the developed fire extinguishing composition by introducing chemical modifiers into its composition is shown. The dependences of the influence of density, viscosity, and surface tension of modified aqueous compositions on the effectiveness of extinguishing a model fire source in laboratory conditions have been established.

Scientific novelty. An additive formulation has been developed that increases the fire extinguishing capacity of water by 3.5 times and differs from the known ones by improved physical properties. For the first time, the dependences of the fire extinguishing ability of compositions based on the developed composition of chemical additives to water on their density, kinematic, dynamic viscosity and surface tension were established.

Practical value. The developed technique and laboratory setup can be used to experimental evaluate the effectiveness of extinguishing model fires with water compositions.

Keywords: *fire safety; fire extinguishing ability; viscosity of the composition; density of the composition; surface tension.*

For citation: Lebedeva V. V., Tomilov M. K. The effect of the physical properties of aqueous compositions on their fire extinguishing ability. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, vol. 3(61), pp. 32-40. EDN CDJZVJ.

УДК 614.842:[614.841.44:614.842.864]

Никита Александрович Канищев, студ.; e-mail: Nikita.121@yandex.ru;

Геннадий Вячеславович Завьялов, канд. техн. наук, доц. каф.; e-mail: zavyavol.g.v@gmail.com

Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А. Н. Костякова

«Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева»

(ФГБОУ – МСХА им. К. А. Тимирязева)

127434, Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, корп. 2. Тел.: +7 (910) 545-94-18; +7 (985) 661-94-64

ОБОСНОВАНИЕ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Цель. Обеспечение противопожарной защиты объектов целлюлозно-бумажной промышленности на основании сокращения времени прохождения сообщения о пожаре и прибытия пожарно-спасательных подразделений.

Методы. Аналитические исследования развития пожаров в зависимости от времени их свободного развития в зданиях и сооружениях целлюлозно-бумажной промышленности России.

Результаты. Проведенные исследования показали, что создание объектовых пожарно-спасательных частей позволяет существенно снизить время прибытия их на объект и начало тушения пожара.

Научная новизна. Впервые на основании реальных скоростей движения пожарной техники к месту пожара подтверждена необходимость создания объектовой пожарно-спасательной части для защиты целлюлозно-бумажного комбината на примере ООО «Кондровский бумажный комбинат».

Практическая значимость. На примере развития пожара в производственных помещениях комбината рассмотрены особенности обеспечения пожарной безопасности предприятий целлюлозно-бумажной промышленности, необходимость организации объектовой пожарно-спасательной части по защите предприятия, размещения приемного устройства пожарной сигнализации на пункте связи части для сокращения времени прохождения информации о пожаре и ущерба от его последствий.

Ключевые слова: *целлюлозно-бумажный комбинат; площадь пожара; ущерб от пожара; противопожарная защита объекта; пожарно-спасательная часть; пункт связи пожарно-спасательной части; пожарная сигнализация; ущерб от пожара.*

Для цитирования: *Канищев Н. А., Завьялов Г. В. Обоснование противопожарной защиты объектов целлюлозно-бумажной промышленности // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 3(61). – С. 41–49. EDN CEZQXO.*

Постановка проблемы. В 2023 г. в России выросло производство бумажной и санитарно-гигиенической продукции. При этом в связи с наложенными санкциями российские производители целлюлозы и бумаги (таких в стране насчитывается 384 единицы) в последний год наращивают выпуск продукции и экспорт ее в страны Африки и Латинской Америки.

Анализ последних исследований. Учитывая изолированность российской бумажной промышленности от поставок импортного оборудования и запасных частей к ним, возникает необходимость повышения противопожарной защиты ее объектов для сохранения дорогостоящего оборудования и продукции от повреждения опасными факторами пожара.

Как показывает практика последних лет, развитие и тушение пожаров в складских и производственных помещениях больших площадей заканчивается полным обрушением их строительных конструкций. В ходе исследования возникших пожаров выясняется, что на первое место по причинам возникновения пожаров выходит нарушение правил пожарной безопасности при ведении огневых работ, непринятие мер по тушению пожара на начальном периоде его развития. Системы обнаружения и тушения пожара иногда находятся в неисправном состоянии из-за отсутствия планового контроля со стороны надзорных органов ввиду введения моратория на проверки. Возникает необходимость установления зависимости площади пожара в зданиях и сооружениях целлюлозно-бумажной промышленности России и убытков от него от времени свободного развития пожара на конкретном примере [1, 2].

Цель исследования – обеспечение противопожарной защиты объектов целлюлозно-бумажной промышленности на основании сокращения времени прохождения сообщения о пожаре и прибытия пожарно-спасательных подразделений.

Материалы и результаты исследований. Согласно руководящим документам время прибытия первых подразделений пожарно-спасательной службы МЧС России не должно превышать 10 мин в городах и 20 мин в сельских населенных пунктах [1].

Пожарно-спасательные части МЧС при нормативном времени прибытия $\tau_{\text{след}} = 10$ мин должны быть расположены на расстоянии от места пожара, не превышающем:

$$L_{\text{пред}} = \frac{\tau_{\text{след}} \cdot V_{\text{дв}}}{60} = \frac{10 \cdot 25}{60} = 4,2 \text{ км,}$$

где $L_{\text{пред}}$ – расстояние от места возникновения пожара до места дислокации ПСЧ, км;

$V_{\text{дв}}$ – средняя скорость движения автоцистерны, км/ч.

В соответствии с исследованиями сотрудников НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР на основании анализа потока выездов пожарно-спасательных подразделений МЧС Донецкого гарнизона средняя скорость движения пожарного автомобиля составляет для городской застройки 25 км/ч и для сельской местности 38 км/ч [2].

При отсутствии объектовой пожарно-спасательной части или неисправности пожарной сигнализации в производственном помещении целлюлозно-бумажного комбината ООО «Кондровский бумажный комбинат» время его обнаружения принимаем равным 10 мин.

Площадь пожара при линейной скорости распространения фронта пламени, равной 1,0 м/мин, на момент его локализации на 26-й мин составит

$$S_{26} = \pi R_{26}^2 = 3,14 \cdot 16^2 = 804 \text{ м}^2.$$

Площадь тушения пожара лафетными стволами (при глубине тушения 10 м) составит

$$S_{\text{туш}} = \pi R_{26}^2 - \pi(R_{26} - 10)^2 = 691 \text{ м}^2.$$

Приняв интенсивность подачи огнетушащих веществ 0,15 л/(с·м²), рассчитаем требуемый расход воды для тушения пожара

$$Q_{\text{тр}} = S_{\text{туш}} I_{\text{тр}} = 104 \text{ л/с.}$$

Таким образом, на тушение пожара необходимо подать пять лафетных стволов и один ствол А. На защиту кровли из тактических соображений необходимо подать два ствола Б.

Схема развития пожара представлена на рисунке 1.

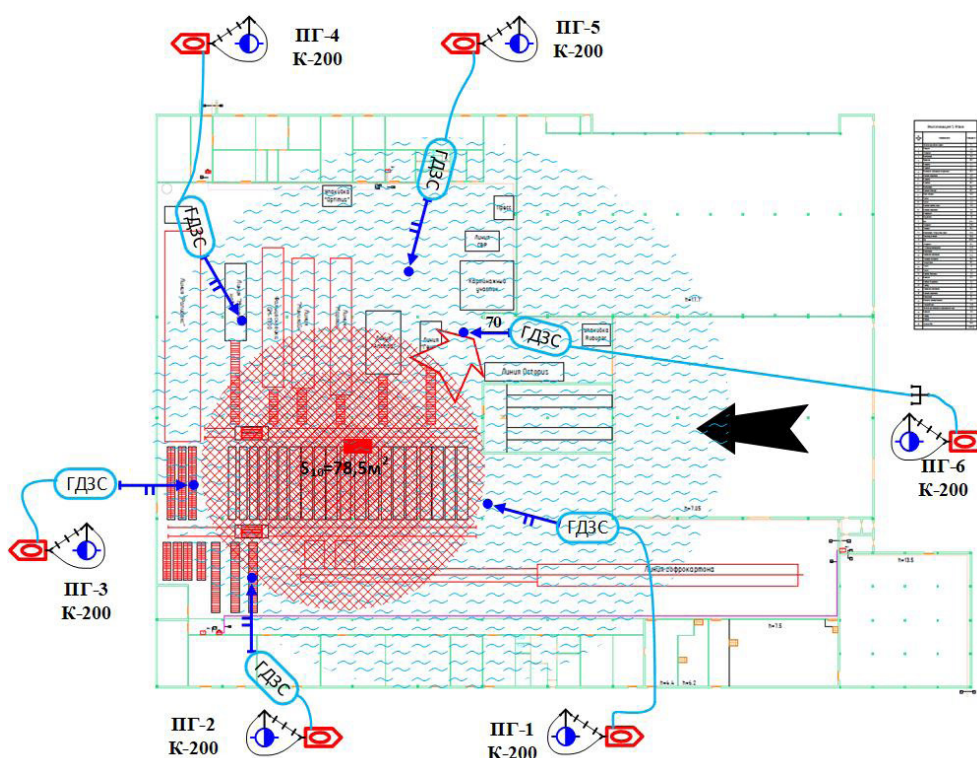


Рис. 1. Схема развития пожара при отсутствии объектовой пожарно-спасательной части

Для тушения пожара потребуется не менее 10 отделений пожарно-спасательных подразделений на основных пожарных автомобилях и двух автомобилей с механизмом автолестницы.

Таким образом, для ликвидации пожара потребуется привлечь силы и средства по повышенному номеру вызова – № 3, а с учетом необходимости смены личного состава, работающего в изолирующих противогазах, развернуть работу контрольно-пропускного пункта газодымозащитной службы и привлечение дополнительных отделений газодымозащитной службы.

При создании объектовой пожарно-спасательной части и размещении на ее пункте пожарной связи пожарной приемной станции время обнаружения и сообщения о пожаре сократится до 1 мин.

За это время фронт пожара распространится на расстояние

$$R_1 = 0,5V \cdot 1 = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1 = 0,5 \text{ м.}$$

Пожар примет круговое распространение и площадь его составит

$$S_1 = \pi R_1^2 = 3,14 \cdot 0,5^2 = 0,785 \text{ м}^2.$$

К моменту ввода первого ствола на 6-й мин фронт пожара распространится на расстояние

$$R_6 = 0,5V_{\text{л}} \cdot 6 = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 6 = 3 \text{ м.}$$

Площадь пожара составит

$$S_6 = \pi R_6^2 = 3,14 \cdot 3^2 = 28,3 \text{ м}^2.$$

При интенсивности подачи огнетушащих средств $0,15 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$, рассчитаем требуемый расход воды для тушения пожара

$$Q_{\text{тр}} = S_{\text{туш}} I_{\text{тр}} = 28,3 \cdot 0,15 = 4,25 \text{ л/с.}$$

Таким образом, на тушение пожара необходимо подать один ствол А. На защиту кровли достаточно подать один ствол Б.

Схема развития пожара при наличии объектовой пожарно-спасательной части и нахождении приемного устройства АПС на ее пункте связи представлена на рисунке 2.

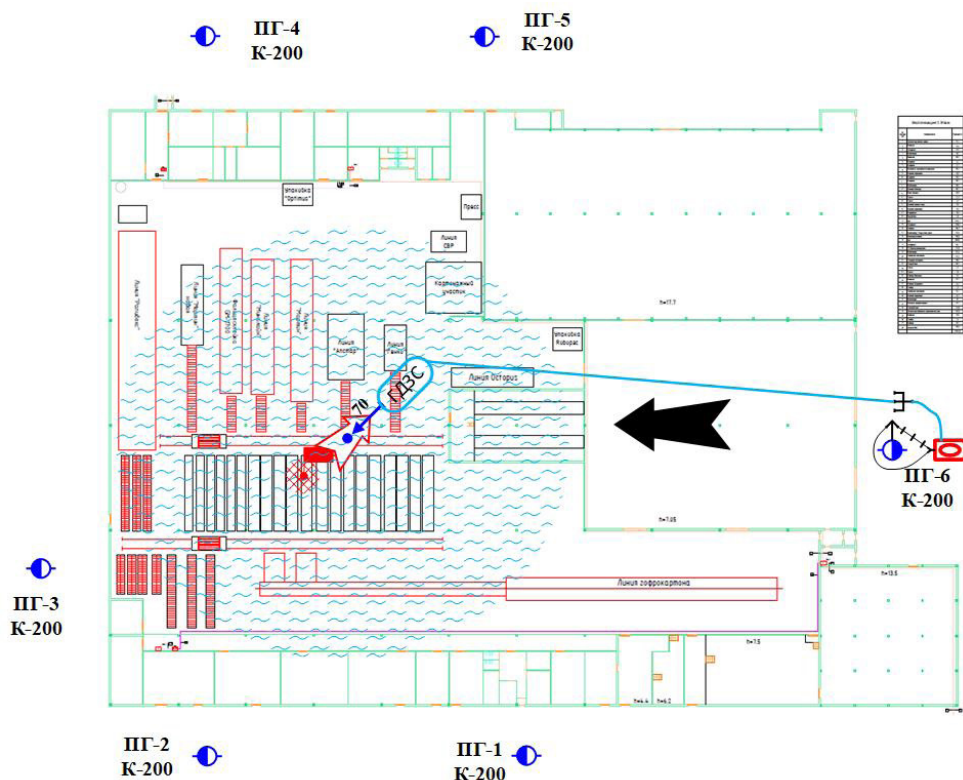


Рис. 2. Схема развития и тушения пожара при наличии объектовой пожарно-спасательной части

Ущерб, наносимый пожаром, прямо пропорционален его площади. Восстановительная стоимость 1 кв. м площади объектов строительства производственного назначения в ценах для здания и сооружения целлюлозно-бумажной промышленности составляет от 2500 до 3500 руб. согласно приказу МЧС России от 28.01.2022 № 43 «Об организации расчета материального ущерба от пожаров должностными лицами органов государственного пожарного надзора» (вместе с «Методическими рекомендациями об организации расчета материального ущерба от пожаров должностными лицами органов государственного пожарного надзора»).

Из совмещенного графика развития пожара $S_{\text{п}}$ и требуемого расхода огнетушащих веществ Q на его тушение можно установить необходимое количество сил и средств для его тушения (рис. 3).

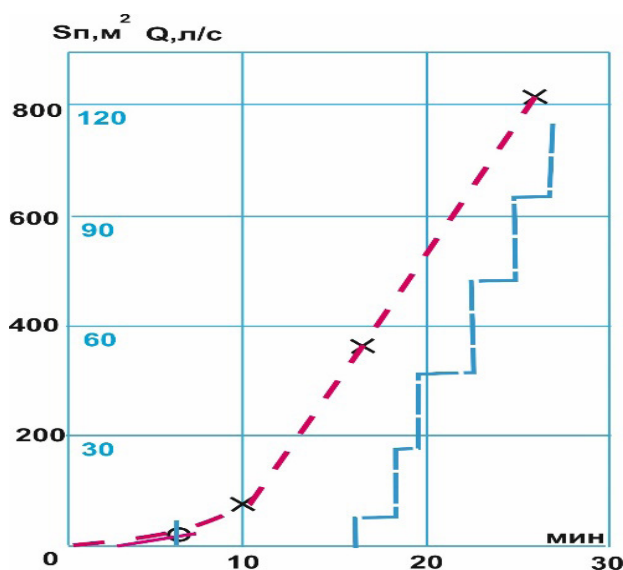


Рис. 3. Соотношение площадей пожара и количества поданных на их тушение огнетушащих веществ при наличии (сплошная линия с о) и отсутствии (пунктирная линия с ×) объектовой пожарно-спасательной части

Соотношение площадей пожара при отсутствии и наличии ведомственной пожарно-спасательной части ($804 : 28 = 28,7$ раза) в общем виде показывает, что прямой ущерб с учетом восстановительной стоимости 1 кв. м для здания и сооружения целлюлозно-бумажной промышленности, равной 3000 руб., снижается в десятки раз.

Кроме того, для ликвидации пожара при отсутствии ведомственной пожарно-спасательной части потребуются силы и средства по вызову № 3 с привлечением дополнительных звеньев газодымозащитной службы, а при наличии объектовой пожарно-спасательной части достаточно сил и средств по вызову № 1.

Сотрудники ведомственного подразделения федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы согласно приказу МЧС России от 11.08.2015 № 424 «Об утверждении Порядка организации деятельности объектовых и специальных подразделений федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы» и постановлению Правительства РФ от 22.12.2011 № 1091 «О некоторых вопросах аттестации аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных формирований, спасателей и граждан, приобретающих статус спасателя» могут участвовать в:

- разработке мероприятий, направленных на повышение пожарной безопасности предприятия [3];
- подготовке к эксплуатации предприятия в пожароопасный период с организацией усиленного режима службы;

- организации контроля за проведением огневых работ и планово-предупредительных ремонтов, которые иногда проводят в выходные и праздничные дни;

- обучении персонала предприятия вопросам пожарной безопасности [4, 5];
- контроле за исправностью систем противопожарной защиты предприятия.

Таким образом, наличие ведомственной пожарно-спасательной части позволит проводить профилактику вне зависимости от конъюнктуры и веяний времени (приостановки проверок бизнеса из-за инфекции Ковид-19 или международных санкций), а в зависимости от складывающейся оперативной обстановки на предприятии.

Выводы.

1. Установлена зависимость площади пожара в зданиях и сооружениях целлюлозно-бумажной промышленности от времени свободного развития пожара при наличии ведомственной пожарно-спасательной части.

2. Размещение контрольно-приемного прибора пожарной сигнализации сокращает время прохождения сообщения о пожаре, что приводит к уменьшению времени его свободного развития и оперативному принятию решений по тушению пожара и снижению ущерба от него.

3. Руководитель целлюлозно-бумажного предприятия, как начальник ГО, на основании постановления Правительства Российской Федерации от 22.12.2011 № 1091 «О некоторых вопросах аттестации аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных формирований, спасателей и граждан, приобретающих статус спасателя» должен организовать ведомственную пожарно-спасательную часть на территории предприятия для сокращения времени свободного развития пожара и уменьшения ущерба от возникшего пожара.

4. Организация ведомственной пожарно-спасательной части позволит с помощью профилактической группы обеспечить соблюдение противопожарного режима на объекте, установить контроль за выполнением пожароопасных работ на его территории.

Список литературы / References

1. Брушлинский, Н. Н. О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара / Н. Н. Брушлинский, О. В. Соколов // Пожарная безопасность. – 2011. – Т. 20, № 1. – С. 42–48.

Brushlinsky, N. N., Sokolov, O. V. *O normirovanii vremeni pribytiya pozharnykh podrazdeleniy k mestu pozhara* [On standardizing the time of arrival of fire departments to the scene of a fire]. *Pozharnaya bezopasnost*, 2011, vol. 20, no. 1, pp. 42-48. (In Russian)

2. Костямин, Д. И. Базовые показатели для определения мест дислокации пожарно-спасательных частей / Д. И. Костямин, Е. И. Добрякова // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2019. – № 1(56). – С. 17–24.

Kostamin, D. I., Dobryakova, E. I. *Bazovyue pokazateli dlya opredeleniya mest dislokatsii pozharno-spasatel'nykh chastey* [Basic indicators for determining the locations of fire and rescue units]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator"*, 2019, no. 1(56), pp. 17-24. (In Russian)

3. Козлова, А. А. Повышение устойчивости функционирования элеваторов / А. А. Козлова, Г. В. Завьялов // Вестник Академии гражданской защиты. – 2022. – № 4(32). – С. 24–30.

Kozlova, A. A., Zavyalov, G. V. *Povyshenie ustoychivosti funktsionirovaniya elevatorov* [Increasing the stability of the functioning of elevators]. *Bulletin of the Academy of Civil Protection*, 2022, № 4(32), pp. 24-30. (In Russian)

4. Завьялов, Г. В. Добровольчество в пожарном деле / Г. В. Завьялов // Гражданская защита: сохранение жизни, материальных ценностей и окружающей среды : сборник материалов IX Международной заочной научно-практической конференции (Минск, 1 марта 2024 г.). – Минск : УГЗ, 2024. – С. 136–140.

Zavyalov, G. V. *Dobrovolchestvo v pozharnom dele* [Volunteerism in fire fighting]. *Civil protection: preservation of life, material values and the environment: collection of materials of the IX International Correspondence Scientific and practical Conference* (Minsk, March 1, 2024). Minsk: UGZ, 2024, pp. 136-140. (In Russian)

5. Завьялов, Г. В. Организация тушения лесных пожаров на современном этапе / Г. В. Завьялов // Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, посвященной 90-й годовщине образования гражданской обороны (24 ноября 2022 г.). – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. – С. 373–378.

Zavyalov, G. V. *Organizatsiya tusheniya lesnykh pozharov na sovremennom etape* [Organization of extinguishing forest fires at the present stage]. *Fire and emergency safety: collection of materials of the XVII International Scientific and practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the formation of civil defense* (November 24, 2022). Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2022, pp. 373-378. (In Russian)

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук А. В. Агарковым
Дата поступления рукописи 07.08.2024
Дата опубликования 19.09.2024

Nikita Aleksandrovich Kanishchev, student, e-mail: Nikita.121@yandex.ru;

Gennady Vyacheslavovich Zavyalov, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Technosphere Safety Department, e-mail: zavyavol.g.v@gmail.com

A. N. Kostyakov Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction “K. A. Timiryazev Russian State Agrarian University – K. A. Timiryazev Moscow State Agrarian University”

(FGBOU – K. A. Timiryazev Moscow State Agrarian University)

127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya str., 44, build. 2. Phone: +7(910) 545-94-18; +7(985) 661-94-64

JUSTIFICATION OF FIRE PROTECTION OF PULP AND PAPER INDUSTRY FACILITIES

Objective. To substantiate the need to increase fire protection of pulp and paper mills in Russia from fires.

Methods. Analytical studies of the development of fires depending on the time of their free development in buildings and structures of the pulp and paper industry in Russia.

Results. The conducted research has shown that the creation of object fire and rescue units can significantly reduce the time of their arrival at the facilities and the beginning of fire extinguishing.

Scientific novelty. For the first time, based on the actual speeds of movement of fire equipment to the fire site, the need to create an object fire and rescue unit to protect the pulp and paper mill was confirmed on the example of Kondrovsky Paper Mill LLC.

Practical value. Using the example of the development of a fire in the industrial premises of the combine, the features of ensuring fire safety of pulp and paper industry enterprises, the need to organize an object fire and rescue unit to protect the enterprise, placing a fire alarm receiver at the communication point of the unit to reduce the time of passing information about the fire and damage from its consequences are considered.

Keywords: *pulp and paper mill; fire area; fire damage; fire protection of the facility; fire and rescue unit; communication point of the fire and rescue unit; fire alarm system; fire damage.*

For citation: Kanishchev N. A., Zavyalov G. V. Justification of fire protection of pulp and paper industry facilities. *Nauchnyy vestnik NII “Respirator”*, 2024, no. 3(61), pp. 41–49. EDN CEZQXO.

II. Безопасность труда

УДК 622.864

Светлана Ивановна Кулакова, канд. техн. наук; e-mail: kulakova_si@mail.ru;

Валерий Иванович Павлов, канд. техн. наук; e-mail: pavlow2005@rambler.ru

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Донбасский государственный технический университет»*

294204, Луганская Народная Республика, г. Алчевск, пр-т Ленина, д. 16. Тел.: +7 (85742) 2-60-43

ПРИЧИНЫ ГАЗОВОЙ АВАРИЙНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНБАССА В ПОСТПРИВАТИЗАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

Цель. Установить основные причины газовой аварийности угольных шахт Донбасса в постприватизационный период для выбора направления совершенствования технологических мероприятий по повышению безопасности пылегазового режима.

Методы. В работе использован аналитический обзор результатов работы комиссий по расследованию аварий, связанных с нарушением пылегазового режима. Расчет показателей аварийности выполнен с помощью методов математической статистики.

Результаты. Определены средние показатели работы и газовой аварийности угольных шахт Донбасса по четырем периодам: период государственной собственности, период начала приватизационных процессов, период влияния приватизационных процессов на работу угольных шахт и постприватизационный период. Констатирован рост среднегодовой аварийности, приходящейся на одну действующую шахту в постприватизационный период.

Научная новизна. Впервые установлено, что высокий уровень газовой аварийности в постприватизационный период обусловлен ослаблением государственного контроля безопасности ведения горных работ и возросшей значимостью материальных стимулов для руководства и исполнителей производственного процесса, что наблюдается на фоне резкого повышения угледобычи.

Практическая значимость. По результатам анализа причин аварийности сформулированы первоочередные направления совершенствования технологических мероприятий по повышению безопасности пылегазового режима: разработка нормативной методики ежедневного планирования нагрузки на очистной забой с учетом газового фактора, дополнительное специальное программно-техническое обеспечение непрерывного автоматического контроля и ограничение работы очистного оборудования по газовому фактору.

Ключевые слова: газовая аварийность; приватизация; закрытие шахт; угледобыча; травматизм; человеческий фактор; аппаратура газового контроля; планирование нагрузки.

Для цитирования: Кулакова С. И., Павлов В. И. Причины газовой аварийности угольных шахт Донбасса в постприватизационный период // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 3(61). – С. 50–58. EDN CYNMQQ.

Постановка проблемы. Метан является фактором риска, ограничивающим эффективность использования современного высокопроизводительного оборудования и снижающим безопасность ведения горных работ. Несмотря на постоянное совершенствование способов и средств борьбы с метаном, периодически даже на технически переоснащенных современных угольных шахтах происходят аварии. Общий перечень причин и факторов, вызывающих газовые аварии, по данным МакНИИ [1], состоит

из 20 пунктов, а по статистике ВостНИИ – из 18 пунктов [2]. Различия в перечнях относятся к неправильным действиям исполнителей производственного процесса. В ходе расследования аварий в первую очередь устанавливаются причины, устранение которых возможно имеющимся арсеналом способов и средств на конкретной шахте, в производственном подразделении. Выявление основных причин – более сложная задача, так как аварийная ситуация часто возникает в результате наложения ряда факторов: технологических, организационных, экономических и социальных [3].

В начале 1990-х годов угольная промышленность Донбасса лишилась дотационной поддержки на реконструкцию и техническое переоснащение и главное – на компенсацию убыточности отдельных угольных шахт. Это не могло не оказать негативного влияния на уровень газовой безопасности. Поэтому установление и обобщение основных причин аварий имеет важное научное и практическое значение для обоснования направления совершенствования мероприятий по обеспечению безопасной отработки угольных месторождений.

Цель работы – выполнить анализ и установить основные причины газовой аварийности угольных шахт Донбасса в постприватизационный период для выбора направления совершенствования технологических мероприятий по повышению безопасности пылегазового режима.

Материалы и результаты исследований. Для проведения анализа была использована статистика МакНИИ по авариям, возникшим из-за аномально высокого метановыделения на шахтах Донбасса, и по показателям работы газовых шахт [4]. При этом учитывались случаи взрывов метана и угольной пыли, воспламенения и удушья. Временной диапазон работы угольных шахт Донбасса с 1980 по 2010 г. был разбит на четыре периода (рис. 1).

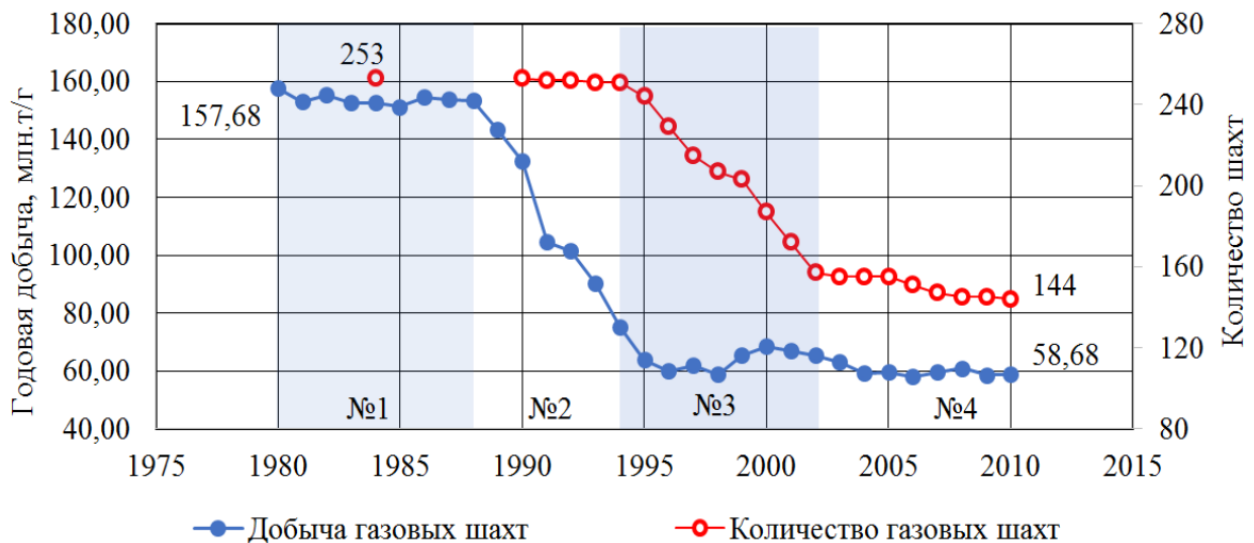


Рис. 1. Количество действующих газовых шахт и их суммарная годовая добыча в анализируемые периоды № 1–4

Период № 1 с 1980 по 1988 г. продолжительностью девять лет выделен для сравнительной оценки состояния газовой аварийности. Количество действующих газовых шахт не изменялось и составляло 253 шахты. Суммарная годовая добыча колебалась незначительно – 157,68...151,22 млн т/г.

В период № 2 с 1989 по 1994 г. были закрыты две шахты. Однако добыча сократилась до 75,13 млн т/г, то есть почти наполовину (на 48,9 %). Снижение угледобычи было обусловлено массовыми забастовками шахтеров в 1989–1990 гг. и социально-экономическими потрясениями – галопирующей инфляцией, начавшейся приватизацией и прекратившейся государственной поддержкой угольной отрасли.

Массовое закрытие нерентабельных шахт произошло с 1995 по 2002 г. во время приватизации (период № 3). Было закрыто 94 шахты. Значительное сокращение шахт, на 37,5 % от действующих в 1994 г., не сопровождалось сокращением общей добычи угля в этот период. К концу периода наблюдалось некоторое повышение до 68,51 млн т/г (2000 г.) при среднегодовом значении 63,79 млн т/г (табл. 1).

Таблица 1

Показатели работы газовых угольных шахт Донбасса

№ п/п	Период, годы	Длительность периода, лет	Среднегодовая добыча, млн т/г	Среднегодовое количество газовых шахт	Среднегодовая добыча одной газовой шахты, тыс. т/г
1	1980–1988	9	153,75	253,0	0,608
2	1989–1994	6	101,48	251,8	0,428
3	1995–2002	8	63,79	195,7	0,326
4	2003–2010	8	59,63	149,6	0,399

Последний период № 4 характеризуется завершением приватизационных процессов, сравнительно стабильным состоянием угольной промышленности. Уровень среднегодовой добычи колебался незначительно и был равен среднему значению по периоду – 59,63 млн т/г. Количество действующих газовых шахт уменьшилось еще на 13 шахт, до 144 (2010 г.). Среднегодовая добыча одной газовой шахты в этот период уменьшилась на 34,4 %.

Несмотря на большое сокращение действующих шахт, их распределение по категориям изменилось несущественно (рис. 2). Суммарный процент наиболее опасных шахт по газу (третьей категории, сверхкатегорийных и опасных по выбросам) в 1990 г. составлял 84,2 %, в 2002 г. 84,5 % и в 2010 г. 86,1 %, то есть в постприватизационный период наблюдалось увеличение количества шахт всего на 1,9 %, поэтому статистические массивы сравниваемых периодов по газовой категоричности будут однородными.

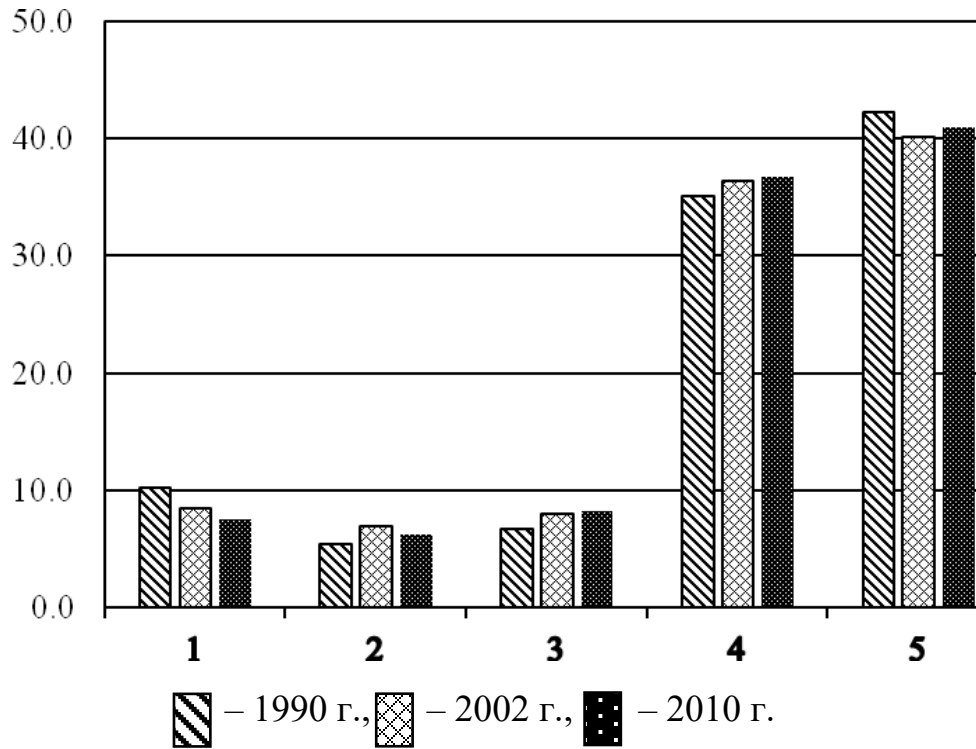


Рис. 2. Распределение количества действующих угольных шахт по категориям по газу:
 1 – первая; 2 – вторая; 3 – третья; 4 – сверхкатегорийная;
 5 – опасная по внезапным выбросам

Для анализа аварийности по газу была учтена статистика только со смертельными случаями, так как официальную статистику по авариям без смертельных случаев нельзя признать полной. Минимальное количество пострадавших в авариях составило 2 чел. (1 погибший и 1 травмированный) по шахте им. Ф. Э. Дзержинского ГП «Дзержинскуголь» 07.04.2008, максимальное – 244 чел. по шахте им. А. Ф. Засядько 18.11.2007. Рассчитанные показатели аварийности приведены в таблице 2. Для сравнения периодов по количеству аварий использован показатель «среднегодовое количество аварий, приходящихся на одну шахту», так как длительность периодов разная, а количество шахт резко сокращалось. Этот показатель в периоде № 4 по сравнению с периодом № 1 вырос в 6,5 раза. Удельный показатель смертельного травматизма увеличился в 6,4 раза. Количество аварий возросло, но по сравнению с периодом № 1 среднее число пострадавших в одной аварии уменьшилось.

Катастрофический рост аварийности свидетельствует о назревшем глобальном кризисе в угольной промышленности Донбасса, вызванном отсутствием должной государственной поддержки. Из-за недостатка средств практически прекратилось строительство, реконструкция и техническое перевооружение шахт. По состоянию на 2005 г. из 7 тыс. стационарного

оборудования две трети полностью отработало свой нормативный срок службы [3]. Из-за отсутствия средств на углубление вертикальных стволов схемы проветривания усложнились. Длина горных выработок увеличилась с одновременным ухудшением их состояния. Соответственно, усилилась депрессия шахт. Вентиляционные установки многих шахт работали на пределе производительности, и поэтому запаса воздуха на проветривание очистных забоев не хватало.

Таблица 2

Показатели газовой аварийности угольных шахт Донбасса

№ п/п	Период, годы	Количество аварий	Среднегодовое количество аварий на одну шахту	Среднее количество пострадавших в одной аварии*, чел.	Удельный показатель смертельного травматизма, чел./млн т
1	1980–1988	6	0,002	33	0,12
2	1989–1994	6	0,004	49	0,21
3	1995–2002	16	0,012	38	0,80
4	2003–2010	15	0,013	28	0,75

* – количество пострадавших включает погибших и травмированных.

Другая распространенная причина возникновения аварийной обстановки – человеческий фактор [5]. Среди общего числа факторов, приводящих к групповым несчастным случаям, его удельный вес составляет более 90 % [2]. На фоне спада производства, происходящих социальных преобразований в обществе материальные стимулы в мотивации поступков приобретают наибольший вес. Негативные проявления материальных мотиваций обнаруживаются в принятии решений в пользу сохранения своего рабочего места, получения большей зарплаты и т.п. в ущерб установленным требованиям по безопасности. Подобная ситуация имеет место в большей или меньшей степени на разных уровнях исполнения производственного процесса. Поэтому основное требование газовой безопасности – не превышать нагрузку на механизированный комплекс по газовому фактору – нарушалось различными способами.

В материалах расследования аварий установлены многочисленные случаи фальсификации информации об аномально высоком метановыделении. Показания контрольно-измерительной аппаратуры умышленно искажались путем использования ее с нарушениями инструкции по эксплуатации и даже прямого вмешательства в работу метанометрического оборудования в шахтных выработках и на поверхности при регистрации информации [6].

Отмечены факты нивелирования в шахтной рабочей и отчетной документации достигнутых предельных нагрузок по добыче.

Массовость негативного проявления человеческого фактора в формировании аварийных загазований нельзя объяснить только влиянием материальных мотиваций. Каждым руководителем в процессе накопления своего производственного опыта формируется представление о взаимосвязи нагрузки и метановыделения. Всякий факт, подтверждающий неточность прогноза при нарушении ограничений по нагрузке, буквально размывает обязательность выполнения этих ограничений. В настоящий момент общепризнана необходимость пересмотра используемой нормативной методики прогноза метановыделения в очистном забое и обоснования предельно допустимой нагрузки по газовому фактору.

В качестве рабочей гипотезы нового подхода принята возможность установления зависимости между планируемой суточной нагрузкой и ожидаемой метанообильностью очистного забоя. Новый методический подход основан на известном явлении – метанообильность очистного забоя зависит от времени между предыдущими выемочными полосами, которое является временем естественной дегазации контура обнажений (угольного забоя, обнажений кровли и почвы).

Разработана научная база по ежесуточному планированию нагрузки на основе текущего прогнозирования метанообильности очистного забоя по текущим показателям остаточной метанообильности угольного пласта и его газоотдачи [7]. Другой подход к реализации этой гипотезы основан на использовании методов многомерного статистического анализа временных рядов, сформированных по данным автоматического газового контроля шахты [8].

Следующим шагом по снижению газовой аварийности угольных шахт, как планирует МакНИИ, будет разработка надежных программно-технических средств контроля и прогнозирования аварийных ситуаций.

Выводы.

1. Социально-экономические изменения в обществе, обусловленные приватизацией государственной собственности, привели к снижению государственного контроля газовой безопасности на угольных шахтах Донбасса.

2. Для исключения несанкционированного вмешательства человеческого фактора в работу аппаратуры газового контроля необходима доработка ее программно-технического обеспечения.

3. Необходима разработка нормативной методики ежесуточного планирования нагрузки на очистной забой с учетом газового фактора. Контроль нагрузки и необходимое ее ограничение на очистной забой во время работы

очистного оборудования должны осуществляться автоматически с помощью дополнительного специального блока аппаратуры газового контроля.

Список литературы / References

1. Состояние и причины производственного травматизма и аварийности на предприятиях Минуглепрома СССР за 1986–1990 годы (обзор). – Москва : МакНИИ, 1991. – 91 с.

Sostoyaniye i prichiny proizvodstvennogo travmatizma i avariynosti na predpriyatiyakh Minugleproma SSSR za 1986–1990 gody (obzor) [The state and causes of occupational injuries and accidents at enterprises of the USSR Ministry of Coal Industry in 1986-1990 (review)]. Moscow, MakNII, 1991, 91 p. (In Russian)

2. Костарев, А. П. О предупреждении взрывов метана и пыли и снижении взрывоопасности шахт / А. П. Костарев // Уголь. – 2002. – № 1. – С. 57–62.

Kostarev, A. P. Opreduprezhdenii vzryvov metana i pyli i snizhenii vzryvoopasnosti shakht [On the prevention of methane and dust explosions and reduction of mine explosion hazard]. *Ugol*, 2002, no. 1, pp. 57-62. (In Russian)

3. Тополов, В. С. Угольная отрасль Украины: Энергоресурсы, перспективы, состояние, проблемы и стратегия развития / В. С. Тополов, Б. А. Грядущий, С. М. Петренко. – Донецк : ООО «Алан», 2005. – 408 с.

Topolov, V. S., Gryadushchiy, B. A., Petrenko, S. M. Ugolnaya otrasl Ukrainy: Energoresursy, perspektivy, sostoyaniye, problem i strategiya razvitiye [Coal industry of Ukraine: Energy resources, prospects, state, problems and development strategy]. Donetsk, ООО “Alan”, 2005, 408 p. (In Russian)

4. Кочерга, В. Н. Обоснование параметров выемочных участков с использованием скважин в неконтролируемых выработках : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / В. Н. Кочерга. – Днепр, 2018. – 254 с.

Kocherga, V. N. Obosnovaniye parametrov vyeemochnykh uchastkov s ispolzovaniyem skvazhin v nekontroliruyemykh vyrabotkakh : dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Substantiation of the parameters of excavation sites with the use of wells in uncontrolled workings: dissertation of the Candidate of Technical Sciences]. Dnipro, 2018, 254 p. (In Russian)

5. Забурдяев, В. С. Технологические схемы подготовки, отработки и управления газовыделением, снижающие риски взрывов метанопылевоздушных смесей в угольных шахтах / В. С. Забурдяев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № S1. – С. 373–381. – EDN TJUVUZ.

Zabourdyayev, V. S. Technologicheskiy eskhemypodgotovki, otrabotki i upravleniya gasovydeleniyem, snizhauyshchiye riski vzryvov metanopylevozdushnykh smesey v ugolnykh shakhtakh [The technological schemes of the preparation, working and control of the methane emissions directed to the lower risks of the methane

explosions at the collieries]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2015, no. S1, pp. 373-381. (In Russian)

6. Кривоногова, А. В. Статистический анализ аварий на шахтах Кемеровской области / А. В. Кривоногова, С. А. Стрекалова // Научные исследования: от теории к практике. – 2016. – № 4-2(10). – С. 43–45. – EDN WYNLVD.

Krивonogova, A. V., Strekalova, S. A. *Statisticheskiy analiz avariya na shakhtakh Kemerovskoy oblasti* [Statistical analysis of mining accidents in the Kemerovo region]. *Nauchnye issledovaniya: ot teorii k praktike*, 2016, no. 4-2(10), pp. 43-45. (In Russian)

7. Ютяев, Е. П. Совершенствование методики прогноза допустимой нагрузки на очистной забой на базе измерения пластового давления метана при дегазации угольного пласта / Е. П. Ютяев, С. В. Сластунов, Г. Г. Каркашадзе // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № S5-1. – С. 236–244.

Yutaev, Ye. P., Slastunov, S. V., Karkashadze, G. G. *Sovershenstvovaniye metodiki prognoza dopustimoy nagruzki na ochistnoy zaboy na baze izmereniya plastovogo davleniya metana pri degazatsii ugolnogo plasta* [The methodology used for performance prediction of coal production on the basis of measurements of reservoir pressure, methane gas drainage of coal seam]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2017, no. S5-1, pp. 236-244. (In Russian)

8. Кулакова, С. И. Адаптивное моделирование динамики метановыделения / С. И. Кулакова // Проблемы горного давления : сборник научных трудов ДонНТУ. – 2017. – № 1(32). – С. 3–12.

Kulakova, S. I. *Adaptivnoye modelirovaniye dinamiki matanovydeleniya* [Adaptive modeling of the dynamics of methanedivision]. *Problemy gornogo davleniya: sbornik nauchnykh trudov DonNTU*, 2017, no. 1(32), pp. 3-12. (In Russian)

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук А. В. Мавроди
Дата поступления рукописи 12.08.2024
Дата опубликования 19.09.2024

Svetlana Ivanovna Kulakova, Cand. Sci. (Tech.); e-mail: kulakova_si@mail.ru;

Valery Ivanovich Pavlov, Cand. Sci. (Tech.); e-mail: pavlow2005@rambler.ru

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

“Donbass State Technical University”

294204, Luhansk People’s Republic, Alchevsk, Lenin prospekt, 16. Phone: +7 (85742) 2-60-43

CAUSES OF GAS ACCIDENTS IN THE COAL MINES OF DONBAS DURING THE POST-PRIVATIZATION PERIOD

Objective. To identify the main causes of gas accidents in the coal mines of Donbas during the post-privatization period in order to determine the direction for improving technological measures to enhance the safety of the dust-gas regime.

Methods. This study utilizes an analytical review of the results from commissions investigating accidents related to violations of the dust-gas regime. The calculation of accident rates was performed using methods of mathematical statistics.

Results. The average indicators of operation and gas accidents of Donbass coal mines have been determined for four periods: the period of state ownership, the period of the beginning of privatization processes, the period of influence of privatization processes on the operation of coal mines and the post-privatization period. An increase in the average annual accident rate per operating mine during the post-privatization period was noted.

Scientific novelty. For the first time, it was established that the high level of gas accidents in the post-privatization period is due to the increased significance of material incentives for management and production process executors. This is expressed in a sharp rise in coal extraction while government safety oversight of mining operations weakened.

Practical value. Based on the analysis of accident causes, directions for improving measures to enhance the safety of the dust-gas regime were proposed. These include developing a normative method for daily planning of the load on the coalface, taking into account the gas factor, and additional special software and technical support for continuous automatic monitoring and limitation of coalface equipment operation based on the gas factor.

Keywords: *gas accidents; privatization; mine closures; coal extraction; injuries; human factor; gas monitoring equipment; load planning.*

For citation: Kulakova S. I., Pavlov V. I. Causes of gas accidents in the coal mines of Donbas during the post-privatization period. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, № 3(61), pp. 50-58. EDN CYNMQQ.

УДК [553.94:622.411.3]:622.812

*Владимир Алексеевич Канин, д-р техн. наук, вед. науч. сотр.; e-mail: vlkanin2@yandex.ru;
Юрий Анатольевич Пивень, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.; e-mail: piven22@internet.ru
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский
институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела»
283001, Донецк, ул. Челюскинцев, 291. Тел.: +7 (949) 368-06-21*

ОСНОВНЫЕ ПРИОРИТЕТЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ

Цель. Исследование генезиса углеводородных газов, поступающих в горные выработки угольных шахт, как одного из приоритетных направлений повышения безопасности ведения горных работ.

Методы. Определение компонентного состава рудничного газа на хроматографе «Кристалл-2000М» и соотношения изотопов углерода C^{12} и C^{13} на масс-спектрометре МИ-1201В.

Результаты. Различия изотопно-геохимических характеристик шахтного метана дают возможность в пределах шахтных полей выявлять участки аномального газонасыщения, которые являются источниками повышенного выделения рудничного газа в горные выработки, воспламенения и взрывов метановоздушной смеси.

Научная новизна. Впервые установлено, что геохимическими критериями наличия миграции в угольные шахты газов глубинного происхождения служат концентрация гелия (более 0,1 %) и изотопный состав углерода метана $\delta^{13}C_{CH_4}$ не менее минус 28,8 ‰.

Практическая значимость. Установлено, что зоны аномального газонасыщения горного массива формируются в зонах влияния разломов кристаллического фундамента, по которым происходит непрерывная миграция углеводородов термогенного и эндогенного генезиса.

Ключевые слова: компонентный и изотопный анализ шахтного метана; разломы кристаллического фундамента земной коры; зоны аномального газовыделения в горные выработки; рудничный газ; безопасность горных работ.

Для цитирования: Канин В. А., Пивень Ю. А. Основные приоритеты повышения безопасности горных работ // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 3(61). – С. 59–68. EDN CZTVZS.

Постановка проблемы. Количество аварий в угольных шахтах Российской Федерации, несмотря на выполнение различных программ повышения безопасности горных работ, остается достаточно высоким, по сравнению с уровнем промышленной безопасности развитых угледобывающих стран. По абсолютным значениям смертельного травматизма основные травмирующие факторы, так же как и тридцать лет назад, но уже при меньшей добыче угля, – «обвалы и обрушения породы». Третье место в этом черном списке, после такого фактора, как «подземный транспорт и подъем», занимают «взрывы и вспышки газа». На эти два фактора (обрушения и взрывы) приходится более 40 % случаев смертельного травматизма. Такая ситуация, продолжающаяся не одно десятилетие, указывает на необходимость пересмотра ряда действующих и разработки новых нормативных документов в области промышленной безопасности.

Один из таких документов должен обеспечивать безопасность работ при проведении и охране горных выработок. Известно, что «обвалы и обрушения породы» приурочены к зонам распространения неустойчивых пород. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что наиболее надежный способ повышения устойчивости таких пород – их физико-химическое закрепление жидкими полимерными композициями, способными к быстрому изменению фазового состояния и обладающими высокой адгезией к горным породам [1–3]. В действующих нормативных документах требования, определяющие обязательное упрочнение неустойчивых пород, особенно в зонах тектонических нарушений, отсутствуют. Имеющиеся по этому направлению предложения носят, как правило, рекомендательный характер и практически не используются.

Еще хуже обстоят дела с документами в области контроля рудничной атмосферы. Существующие на шахтах датчики термокаталитического действия тарируются исключительно по метану, а реагируют на все горючие газы, встречающиеся в рудничной атмосфере. Среди этих газов особое внимание следует обращать на тяжелые углеводороды, так как с увеличением глубины горных работ содержание их в горном массиве и, соответственно, в рудничной атмосфере возрастает, а пределы их взрываемости в смеси с воздухом значительно ниже, чем у метана [3]. Следовательно, для своевременного выявления опасных концентраций газовых смесей и предупреждения их вспышек и взрывов необходимо разработать требования по отдельному контролю содержания горючих газов датчиками нового поколения и выявлению опасных ситуаций по интегральной характеристике взрывоопасности рудничной атмосферы.

Следует также изменить подходы к прогнозу катастрофических выделений метана и других газообразных углеводородов, вводя такой дополнительный прогнозный фактор, как наличие в пласте и вмещающих породах трещинно-пористой структуры, заполняющейся горючими газами глубинного происхождения¹, и участвующими в формировании зон аномального газонасыщения. Выявление таких зон заключается в установлении путей миграции горючих газов, по которым они поступают в горный массив, и генезиса этих газов.

Анализ последних исследований и публикаций. Согласно профессору Э. М. Галимову [4], «современное газовое поле земной коры, включая

¹ В отличие от метаморфогенного метана, образовавшегося в угольных пластах “in situ” на различных этапах формирования угольного месторождения и определяющего сейчас фоновую метанонасыщенность горного массива, метан глубинного происхождения разделяется на: а) термогенный метан, поступающий из глубоко расположенных угольных пластов, нефтяных и газовых залежей; б) эндогенный метан, проникающий в угленосную толщу из мантии Земли по разломам кристаллического фундамента. Мантийный метан характеризуется относительно постоянным дебитом. И если ресурсы угля на планете являются невозполнимыми, то ресурсы мантийного метана практически неисчерпаемые.

газовые скопления и залежи в отложениях любого геологического возраста, сравнительно молодо, т. е. образовалось в течение последнего времени, в среднем меньшего, чем время, необходимое для существенного изменения геологического строения осадочного комплекса. Газы более древнего возраста, по крайней мере старше третичного, почти полностью рассеялись». При этом Э. М. Галимов выделяет несколько зон, отличающихся характером процессов, которые контролируют распределение изотопов углерода в метане и диоксиде углерода. К первой относится биохимическая зона, расположенная в интервале 0...500 м от поверхности, в которой происходит обогащение метана изотопом $\delta^{12}\text{C}$ в результате того, что обмен углерода здесь осуществляется бактериями. На больших глубинах и на термальных площадях, примыкающих к районам тектонической активности, проявляется действие неорганической системы $\text{CO}_2\text{--CH}_4$. При этом в соответствии с величиной термодинамического изотопного эффекта углерод метана может оказаться более обогащенным тяжелым изотопом $\delta^{13}\text{C}$, чем органическое вещество. О том, что изотопный состав углерода, который входит в разные вещества, может служить инструментом установления генезиса этих веществ, свидетельствуют многочисленные данные, например, в работе [5].

В последние годы появились также доказательства возможности геологически мгновенного формирования газовых и нефтяных залежей и даже их пополнения в процессе разработки [6]. Следовательно, на современном геологическом этапе глубинные палеофлюиды могут способствовать также и поступлению абиогенного метана с формированием в границах газугольных месторождений техногенных залежей. Доказательством того, что не все залежи углеводородов связаны с органическим происхождением, служат скопления нефти и газа, обнаруженные во всех исследованных достаточно мощных осадочных бассейнах на континентах и в периферийных частях Мирового океана, независимо от возраста отложений, их географического и климатического положения. Нефтегазопроявления все чаще открывают в горных складчатых областях. Встречаются они в пределах метаморфических и кристаллических выступов фундамента платформ. По мере увеличения глубины бурения все ниже отодвигается граница их распространения. Во всяком случае, 7...8 км уже не предел. Возможность неорганического происхождения огромных запасов углеводородов подтверждается и результатами космических исследований. Особенно интересны в этом плане данные, полученные автоматическими межпланетными станциями Cassini и Voyager-2 [7], обнаружившими жидкий метан в атмосфере и на поверхности Нептуна, Титана и Энцелада.

Наличие постоянного газового обмена с мантией Земли по крупным геологическим нарушениям подтверждается исследованиями И. Н. Яницкого [8], который показал, что распределение концентраций гелия в кровле щебенистой коры выветривания связано с наличием глубинных разломов.

В. П. Якуцени приводит в своей работе [9] баланс, согласно которому в Земле ежегодно образуется $2,94 \cdot 10^{13}$ см³ гелия и теряется при диссипации $0,32 \cdot 10^{13}$ см³/год.

Пространственно-временную локализацию и пути миграции метана глубинного происхождения можно изучать методами изотопного анализа, при котором изотопный состав углерода угля, метана и диоксида углерода определяется по международному стандарту PDB [10], основанному на уникальных свойствах ископаемых остатков белемнитов² мелового периода из формации Pee Dee в Южной Каролине (США). Изотопные исследования, проведенные во многих странах, показали [11], что углеводородные газы характеризуются значительным диапазоном колебаний изотопного состава углерода. Самыми тяжелыми по изотопному составу углерода являются газы, связанные с магматической деятельностью ($\delta^{13}\text{C} = -10 - -30 \text{‰}$), а самыми легкими – газы биохимического генезиса ($\delta^{13}\text{C} = -50 - -80 \text{‰}$). Газы нефтегазовых месторождений занимают промежуточное положение ($\delta^{13}\text{C} = -30 - -50 \text{‰}$). Метан однозначно считается абиогенным при $\delta^{13}\text{C} \geq -20 \text{‰}$ [12].

Цель работы. Исследование генезиса и путей миграции углеводородных газов, поступающих в горные выработки угольных шахт, как одного из приоритетных направлений повышения безопасности ведения горных работ.

Результаты исследований. Связь повышенных газовыделений в горные выработки с геоструктурными аномалиями угленосного массива и изотопными характеристиками угля, метана и диоксида углерода рассмотрим на примере нескольких шахт, бывших когда-то гигантами угольной промышленности, сверхкатегорных по газу, опасных по суффлярным выделениям метана и газодинамическим явлениям, в выработках которых неоднократно происходили вспышки и взрывы рудничного газа.

Наиболее остро вопросы безопасности горных работ стояли на шахте им. А. Ф. Засядько, где только от трех взрывов рудничного газа (1999, 2001 и 2007 гг.) погибли 211 человек, а в 2006 г. при отходе 13-й восточной лавы пласта l_1 от монтажной печи на 5 м в участковые выработки в течение четырех часов выделилось более 100 тыс. м³ метана, что привело к гибели 13 и отравлению 62 человек. Кроме того, на шахте официально было зарегистрировано 58 выбросов угля и газа, спровоцированных сотрясательным взрыванием, и 8 внезапных выбросов. Большинство из всех перечисленных аварий произошло в западной части шахтного поля в зоне влияния Ветковской флексуры, осложненной Ветковским надвигом. Поэтому на первом этапе

² Белемниты были выбраны в качестве стандарта по причине однородного изотопного состава с абсолютным значением $C^{13}/C^{12} = 0,0112372$. Смещение изотопного состава углерода относительно международного стандарта PDB ($\delta^{13}\text{C}$) выражается в частях на миллион и определяется по формуле $\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{(C^{13}/C^{12})_{\text{обр}}}{(C^{13}/C^{12})_{\text{PDB}}} \right] 1000, \text{‰}$.

исследований по результатам спутниковой и наземной гравиметрии был выполнен расчет полей напряжений на территории Донецко-Макеевского района Донбасса, включая поле шахты им. А. Ф. Засядько [13]. Анализ этих полей показал хорошее соответствие локальной составляющей напряжений основным тектоническим элементам осадочной толщи рассматриваемого района. Некоторые области повышенных напряжений хорошо коррелируются с известными тектоническими нарушениями, в частности с Ветковским и Григорьевским (на восточной границе шахтного поля) надвигами, которые по результатам гравиметрической съемки связаны с разломами кристаллического фундамента – основными каналами подвода в осадочную толщу углеводородов глубинного происхождения. Исследованиями на шахте им. А. Ф. Засядько установлено также [14], что по мере приближения к зонам тектонических структур III порядка, которые тяготеют к разломам кристаллического фундамента, происходит закономерное возрастание концентрации He (до 0,1...0,12 % при норме 0,02...0,06 % на ненарушенных участках), H₂ (до 0,12...0,15 % против 0,01...0,07 %) и тяжелых углеводородов (до 7,4...9,2 % против 1,8...8,12 %) и утяжеление изотопного состава углерода метана ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$) и диоксида углерода ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$), как показано в таблице 1.

Таблица 1

Изотопный состав углерода угля, метана и диоксида углерода в пробах, отобранных в 17-м западном конвейерном штреке пласта m_3

№ пробы	Расстояние от Ветковского надвига, м	$\delta^{13}\text{C}$, ‰		
		CH ₄	CO ₂	Угля
1	206	–	–	-24,73
2	206	-42,50	–	–
3	122	-24,36	-18,55	–
4	122	-35,13	-13,74	–
5	30	-30,30	-21,90	-23,63
6	30	-20,40	-21,35	–

Как следует из табличных данных, по мере приближения горных выработок к Ветковскому надвику из их забоев происходит выделение рудничного газа с более тяжелым углеродом метана от -42,5 до -20,4 ‰. Это указывает на подток тяжелого метана из разлома кристаллического фундамента по Ветковскому надвику и его апофизам в разрабатываемый угольный пласт. Полученные в шестой пробе значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} < \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ свидетельствуют о присутствии

в угольном пласте генетически разных метана и углекислого газа, что свидетельствует о миграции по Ветковскому надвигу метана, генерируемого на больших глубинах. В этом случае повышенные газовыделения в горных выработках полностью могут быть связаны с чужеродным газом, формирующим зоны аномального газовыделения.

На соседней шахте «Щегловская-Глубокая», в зоне Григорьевского надвига, на трех горизонтах (820, 915 и 1035 м) были пробурены 20 скважин длиной 65...70 м, которые пересекали пласты m_4 и m_4^0 и выходили на песчаник $m_4^0Sm_4$ мощностью 25...50 м. Из всех скважин наблюдались выделения гелия, водорода и гомологов метана, в несколько раз превышающие фоновые значения этих газов для условий Донецкого бассейна. Из скважины, пробуренной на горизонте 915 м в непосредственной близости от надвига, выделялся газ с содержанием гелия 0,11 %, что выше фонового значения в 11 раз, этана 3,26 % (в 5,7 раза), пропана 0,92 % (в 5,75 раза), бутана 0,18 % (в 7,2 раза), пентана 0,91 % (в 6,6 раза). При анализе проб газа, отобранных из скважин на горизонте 1035 м, содержание гелия составляло 0,13 %, этана 4,29 %, пропана 1,39 %, бутана 0,22 % и пентана 0,012 %. Изотопный анализ диоксида углерода из шпуров в забое 1-го западного конвейерного штрека пласта k_8 , который располагался на расстоянии 60...110 м от сместителя Григорьевского надвига, показал, что $\delta^{13}C$ диоксида углерода изменялся в диапазоне -25,06...-17,90 ‰, что характерно для термогенного газа.

На шахте «Краснолиманская» исследования изотопного состава углерода метана и диоксида углерода выполнялись на глубине 950 м в 11-м северном конвейерном штреке пласта k_5 по мере приближения его забоя к апофизе Глубокоярского сброса с амплитудой 3,5 м. Амплитуда самого Глубокоярского сброса по ходу движения выработки прогнозировалась на уровне 20...86 м. Угольный пласт и вмещающие породы на участке проведения этого штрека были осложнены сетью малоамплитудных пликативных и дизъюнктивных нарушений, при переходе которых отмечались повышенные газовыделения.

Исследования компонентного состава газа, выделяющегося из шпуров, пробуренных в забое штрека, показали изменение содержания метана в пределах 92,0...98,5 %, этана 0,39...0,71 %, пропана 0,0...0,36 %, бутана 0,0...0,1 %. Содержание гелия изменялось в пределах 0,05...0,19 %, водорода 0,0...0,002 %. Коэффициент сухости газа C_{HC} , который определяется отношением объема метана, содержащегося в газовой смеси, к суммарному объему содержащихся в этой смеси гомологов, изменялся в пределах 100...320, нарастая с приближением к Глубокоярскому сбросу. Это означает, что по этому сбросу с глубины поступают газы, более бедные гомологами метана по сравнению с газом пласта k_5 . Значения $\delta^{13}C_{CH_4}$ в смеси газов из угольного пласта изменялись в пределах -34,51...-37,58 ‰, проявляя слабую тенденцию возрастания с приближением к Глубокоярскому сбросу. Значения

$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ характеризовались широким разбросом – $-8,12 \dots -20,75$ ‰, снижаясь с приближением к Глубокоярскому сбросу. Так как обогащение диоксида углерода более легким изотопом углерода ^{12}C происходило с повышением степени углефикации угля, то выявленная закономерность свидетельствует о подтоке изотопно легкого диоксида углерода с более глубоких угольных горизонтов. Обобщая данные по вариациям величин $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ и $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ вдоль конвейерного штрека, можно сделать вывод, что с глубины по тектоническим нарушениям, оперяющим Глубокоярский сброс, поднимается газ, который был генерирован из угля более высокой степени углефикации, с величинами $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ и $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$, более близкими по своим значениям в сравнении со значениями, характерными для пласта k_3 .

Результаты исследований, выполненных на шахтах им. А. Ф. Засядько и «Краснолиманская», представлены на генетической диаграмме в координатах $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} - \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ (рис.).

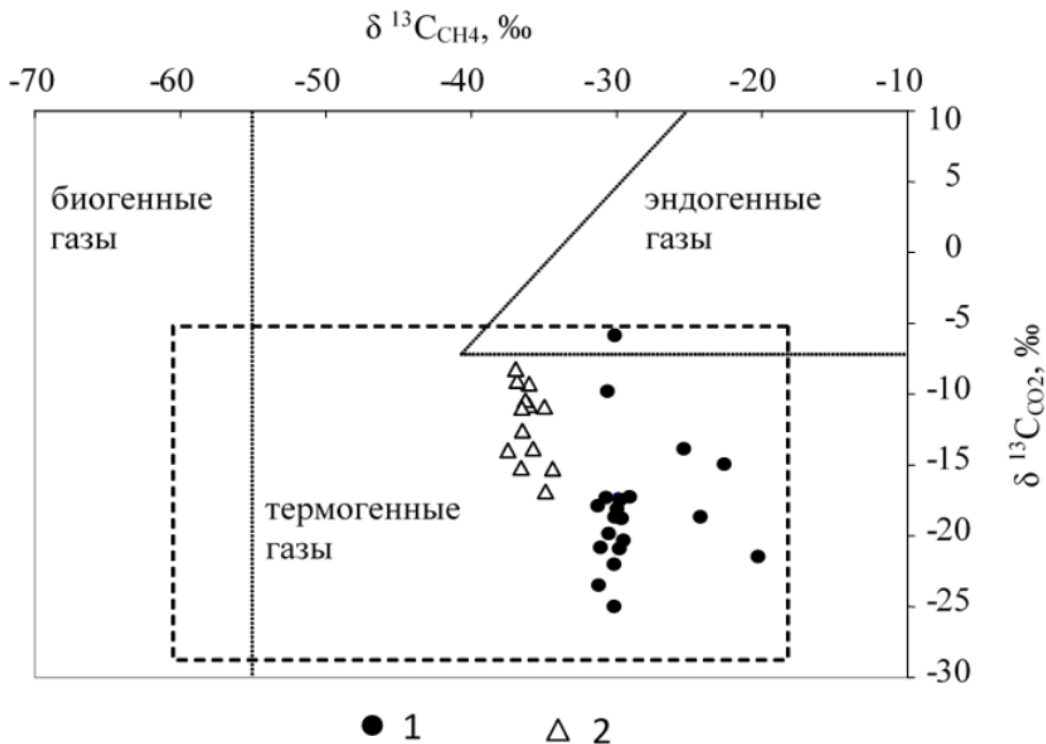


Рис. Распределение изотопного состава углерода метана и углекислого газа в газовых пробах шахт им. А.Ф. Засядько (1) и «Краснолиманская» (2) на генетической диаграмме в координатах $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} - \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$

При рассмотрении этой диаграммы следует обратить внимание на то, что в пробах шахты им. А.Ф. Засядько наблюдается значительный разброс значений и $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ ($-42,5 \dots -20,4$ ‰) и $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ ($-24,88 \dots -6,5$ ‰), но в среднем более тяжелый изотопный состав углерода имеет CH_4 . При этом несколько проб газа с $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} \geq -25$ ‰ содержит CH_4 с изотопным составом углерода,

обнаруженным в вулканических газах и термальных источниках. В пробах шахты «Краснолиманская» наблюдается большой разброс значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ (-20,75...-8,12 ‰) при небольшом разбросе значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ (-37,58...-34,51 ‰). При этом более тяжелым является диоксид углерода.

Обе шахты разрабатывали угольные пласты с одинаковой маркой Ж, но были расположены в различных геолого-промышленных районах, вели горные работы на разных глубинах (соответственно 1340 и 950 м), и Глубокоярский сброс был связан с разломами кристаллического фундамента. Все это и определило различия в генезисе и путях миграции глубинного метана в горные выработки. На шахте им. А. Ф. Засядько встречается метан, близкий к мантийному происхождению, мигрирующий по разломам кристаллического фундамента и тектоническим нарушениям в осадочной толще из верхних слоев мантии. На шахте «Краснолиманская» преобладает метан, который образовался в угле более высокой степени углефикации на большей глубине, чем пласт k_5 , и мигрировал в шахту по сети тектонических нарушений.

Выводы. На основании обнаруженных изменений в соотношении изотопного состава углерода в метане и диоксиде углерода на некоторых участках шахтного поля можно сделать вывод, что такие участки образуются вблизи зон тектонических нарушений, связанных с разломами кристаллического фундамента, за счет постоянного поступления в них глубинных и мантийных газов. В результате формируются участки аномального газонасыщения, представляющие повышенную опасность в отношении выбросов, вспышек и взрывов рудничных газов, а также участков для долговременной добычи метана в пределах шахтных полей действующих и закрытых шахт.

Список литературы / References

1. Lenz, T. Verfestigen des Kohlenstobes mit Polyurethan / T. Lenz // Glückauf. – 1972. – № 17. – S. 8–10. (In German)

2. Renneckendorf, D. Vernendung flüssiger Kunststoffe in Bergbau unter Tage / D. Renneckendorf // Glückauf-Forschungshefte. – 1980. – № 2. – S. 57–61. (In German)

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

Kanin, V. A., Tikholiz, A. M., Golubev, A. A., Pashchenko, A. V. *Vzryvoopasnyye komponenty rudnichnogo gaza* [Explosive components of mine gas] // *Ugol Ukrainy*, 2005, № 7, S. 28-30. (In Russian)

4. Галимов, Э. М. Геохимия стабильных изотопов углерода / Э. М. Галимов. – Москва : Недра, 1968. – 226 с.

Galimov, E. M. *Geochimiya stabilnykh izotopov ugleroda* [Geochemistry of stable carbon isotopes]. Moscow, Nedra, 1968. – 226 p. (In Russian)

5. Лебедев, В. С. О генетической связи изотопного состава углерода абиогенных и биогенных природных органических соединений / В. С. Лебедев // Ядерная геология : сборник статей / под ред. Е. В. Каруса. – М., 1974. – С. 52–61.

Lebedev, V. S. *O geneticheskoy svyazi izotopnogo sostava ugleroda abiogennykh i biogennykh prirodnykh organicheskikh soyedineniy* [On the genetic relationship of the carbon isotope composition of abiogenic and biogenic natural organic compounds]. *Yadernaya geologiya. Sbornik statey, pod red. Ye. V. Karusa*. Moscow, 1974, S. 52-61. (In Russian)

6. Соколов, В. А. О возможной быстрой современной генерации нефти и газа / В. А. Соколов, А. Н. Гусева // Вестник МГУ. – Сер. 4. Геология. – 1993. – № 3. – С. 39–46.

Sokolov, V. A., Guseva, A. N. *O vozmozhnoy bystroy sovremennoy generatsii nefi i gaza* [About the possible rapid modern generation of oil and gas] // *Vestnik MGU*. – Ser. 4. Geologiya, 1993, № 3, S. 39-46. (In Russian)

7. Voyager to Jupiter and Saturn. Washington, DC NASA SP-420, 1977, pp. 53-55. (In English)

8. Яницкий И. Н. Гелиевая съемка / И. Н. Яницкий. – Москва : Недра, 1979. – 94 с.

Yanitskiy, I. N. *Geliyevaya s'yomka* [Helium footage]. Moscow, Nedra, 1979, 94 s. (In Russian)

9. Якуцени, В. П. Геология гелия / В. П. Якуцени. – Ленинград : Недра, 1968. – 232 с.

Yakutseni, V. P. *Geologiya geliya* [Geology of helium]. Leningrad, Nedra, 1968, 232 s. (In Russian)

10. Colombo et al. Isotopic measurements of C^{13}/C^{12} ratio on Italian natural gasses and their geochemical interpretation. *Nature*, 1965, v. 205, № 4978, pp. 1303-1304. (In English)

11. Carbon isotope techniques / Ed. by D. C. Coleman and B. Fry. San Diego, Academic Press, 1991, p. 134. (In English)

12. Nier, A. O., Gulbransen, E. A. Variations in the relative abundance of the carbon isotopes. *J. Amer. Chem. Soc.*, 1939, vol. 61, 697, pp. 679-698. (In English)

13. Довбнич, М. М. Применение спутниковой и наземной гравиметрии для оценки геоизостатических напряжений тектоносферы – дополнительного критерия прогноза геодинамических процессов / М. М. Довбнич // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 11. – С. 64–69.

Dovbnich, M. M. *Primeneniye sputnikovoy i nazemnoy gravimetrii dlya otsenki geoizostaticheskikh napryazheniy tektonosfery – dopolnitel'nogo kriteriya prognoza geodinamicheskikh protsessov* [The use of satellite and ground-based gravimetry to assess the geostatic stresses of the tectonosphere is an additional criterion for predicting geodynamic processes]. *Naukoviy visnik NGU*, 2007, № 11, S. 64-69. (In Russian)

14. Ізотопно-геохімічні напрацювання прогнозу ділянок аномального газонасичення у вугільних покладах Донбасу / О. В. Ємець, В. О. Канін, О. О. Таранік, О. О. Іванків, Л. І. Проскурко // Доповіді НАН України. – 2009. – № 6. – С. 26–134.

Yemets' O. V., Kanin V. O., Taranik O. O., Ivankiv O. O., Proskurko L. I. Izotopno-geokhimichni napratsyuvannya prohnozu dilyanok anomal'noho hazonasychennya u vugil'nykh pokladakh Donbasu [Isotope and geochemical developments in the forecast of areas of abnormal gas saturation in coal deposits of Donbass] // *Dopovidi NAN Ukrayiny*, 2009, № 6, S. 26-134. (In Ukrainian)

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук Е. А. Головченко
Дата поступления рукописи 30.07.2024
Дата опубликования 19.09.2024

Vladimir Alekseyevich Kanin, Dr. Sci. (Tech.), leading Scientific associate; e-mail: vlkanin2@yandex.ru;
Yury Anatolyevich Piven, Cand. Sci. (Tech.), leading Scientific associate; e-mail: piven22@internet.ru
Federal State Budget Scientific Institution "Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying"
83001, Donetsk, ulitsa Chelyuskintsev, 291. Phone: +7 (949) 368-06-21

MAIN PRIORITIES OF IMPROVING THE SAFETY OF MINING WORKS

Objective. The study of the genesis of hydrocarbon gases entering the mining operations of coal mines as one of the priority directions for improving the safety of mining operations.

Methods. Determination of the component composition of mine gas on the Crystal-2000M chromatograph and the ratio of carbon isotopes C^{12} and C^{13} on the MI-1201B mass spectrometer.

Results. Differences in the isotope-geochemical characteristics of mine methane make it possible to identify areas of abnormal gas saturation within mine fields, which are the sources of increased release of mine gas into mining operations, ignition and explosions of the methane-air mixture.

Scientific novelty. For the first time, it was established that the geochemical criteria for the presence of migration into coal mines of gases of deep origin are the concentration of helium (more than 0.1 %) and the carbon isotopic composition of methane $\delta^{13}C_{CH_4}$ not less than minus 28.8 ‰.

Practical value. It was established that the zones of anomalous gas saturation of the mountain massif are formed in the zones of influence of the faults of the crystalline basement, along which there is a continuous migration of hydrocarbons of thermogenic and endogenous genesis.

Key words: component and isotopic analysis of mine methane; fractures of the crystalline foundation of the earth's crust; zones of abnormal gas release in mining; mine gas; mining safety.

For citation: Kanin V. A., Piven Yu. A. Main priorities for improving the safety of mining works. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, № 3(61), pp. 59-68. EDN CZTVZS.

УДК 331.45:613.644

Сергей Павлович Драган, д-р техн. наук, доц., зав. отд.; e-mail: s.p.dragan@rambler.ru;

Роман Константинович Ковалёв, аспирант; e-mail: kovalevrk@bmstu.ru;

Алексей Валерьевич Богомолов, д-р техн. наук, проф., вед. научн. сотр.;

e-mail: a.v.bogomolov@gmail.com;

Владимир Юрьевич Лизунов, канд. мед. наук, доц., ст. науч. сотр.; e-mail: profimedliz@narod.ru

*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр РФ –
Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна» ФМБА России*

123098, Москва, ул. Маршала Новикова, д. 23. Тел.: +7 (499) 638-32-58; +7 (499) 190-85-55

КРИТЕРИИ РЕГИСТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКОГО РЕФЛЕКСА ОРГАНА СЛУХА

Цель. Теоретико-экспериментальное обоснование критерия регистрации акустического рефлекса для определения безопасных условий труда работников, подвергающихся сверхнормативному воздействию высокоинтенсивного широкополосного шума.

Методы. Измерения акустических импедансных характеристик наружного слухового прохода у 37 практически здоровых испытуемых возраста от 22 до 62 лет проведены с применением аппаратно-программного комплекса, реализующего двухмикрофонную технику акустических измерений. Обработка результатов измерений проводилась с применением методов математической статистики.

Результаты. Показано, что изменение резонансной частоты, определенное по изменению знака реактивной компоненты импеданса наружного слухового прохода, – необходимое и достаточное условие объективного определения порога акустического рефлекса. При этом для когорты практически здоровых людей при использовании стимулирующего сигнала частоты 500 Гц с уровнем звукового давления 82...88 дБ вероятность правильной регистрации акустического рефлекса будет составлять около 0,8, что достаточно для решения задач скрининговых медицинских исследований.

Научная новизна. Показано, что акустический рефлекс, как защитная реакция организма, чаще формируется на частотах 500 и 1000 Гц, а не на частотах максимальной чувствительности органа слуха, и определяется общим воздействием сверхнормативного шума. Обоснован критерий объективной регистрации акустического рефлекса органа слуха применительно к решению задач разработки мероприятий по сохранению здоровья, обеспечения работоспособности и продлению профессионального долголетия персонала, подвергающегося сверхнормативному воздействию высокоинтенсивного широкополосного шума.

Практическая значимость. Разработанный критерий регистрации акустического рефлекса позволяет объективно оценить безопасность условий труда (с точки зрения характеристик акустической обстановки) и эффективность (с точки зрения защиты органа слуха от шума) любых средств защиты от шума.

Ключевые слова: *безопасность труда; акустическая безопасность; защита от шума; акустический рефлекс; высокоинтенсивный шум; сверхнормативный шум; широкополосный шум; эффективность противошумов.*

Для цитирования: Драган С. П., Ковалёв Р. К., Богомолов А. В., Лизунов В. Ю. Критерии регистрации акустического рефлекса органа слуха // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 3(61). – С. 69–81. EDN FCEALU.

Постановка проблемы. По данным Всемирной организации здравоохранения, число людей, страдающих профессиональной и производственно обусловленной нейросенсорной тугоухостью (НСТ), превышает 1 млрд человек [1, 2]. Наиболее подвержены воздействию сверхнормативного шума инженерно-технический

состав авиации, машинисты железнодорожного транспорта и водители большегрузных автомобилей. Воздействие шума обуславливает повышение вероятности ошибочных действий на 10–20%, сокращение профессионального долголетия на 5...15 лет [3, 4]. Особенно актуальна задача защиты работников от импульсного шума, образующегося при проведении взрывных и взрывотехнических работ.

Решение задачи защиты работников от сверхнормативного шумового воздействия зависит от комплекса объективных факторов: ужесточение предельно допустимых уровней постоянного и переменного шума не всегда обосновано, а использование средств индивидуальной защиты органа слуха не всегда целесообразно в связи с определенным дискомфортом и невозможностью аудиоконтакта между персоналом и/или недостаточно эффективной шумозащитой [5–7].

Анализ последних исследований. Санитарно-гигиеническое нормирование импульсного шума в настоящее время основано на регламентации только одной характеристики – пикового уровня звукового давления, зарегистрированного по шкале «С». Частотное ограничение (шкала «С») существенно снижает прогностическую и информационную значимость санитарно-гигиенического нормирования в связи с тем, что «обрезает» и, соответственно, не учитывает вклад низких частот. Такой подход эффективен лишь для защиты от узкополосного шума, например от стрелкового оружия, а для защиты от высокоинтенсивного широкополосного шума его эффективность недостаточно высокая. Таким образом, очевидно несовершенство методического обеспечения санитарно-гигиенического нормирования импульсного шума.

Анализ литературы показывает, что эффективные методы диагностики состояния органа слуха в условиях сверхнормативного шумового воздействия непосредственно на рабочих местах в полевых условиях, необходимые для обоснования медико-технических мероприятий защиты от шума в виде «защиты временем» или «защиты расстоянием», отсутствуют [8–10].

Наиболее перспективный подход к решению этой задачи – исследование акустического рефлекса (далее – АР), проявляющегося в виде произвольных сокращений мышц среднего уха и изменений положения барабанной перепонки в ответ на звуки высокой интенсивности. В работах [11–13] показано, что первичная реакция организма на сверхнормативный импульсный шум проявляется в нарушении защитной функции органа слуха, то есть в увеличении порога АР, что обусловило актуальность исследования.

Цель исследования состояла в теоретико-экспериментальном обосновании критерия регистрации АР для определения безопасных условий труда работников, подвергающихся сверхнормативному воздействию высокоинтенсивного широкополосного шума.

Материалы и методы исследования. Проведено исследование с участием 37 практически здоровых испытуемых возраста от 22 до 62 лет. Для анализа произведено 321 измерение акустических импедансных характеристик наружного слухового прохода (далее – НСП), по результатам определен порог

АР (161 измерение на левом и 160 – на правом ухе). Анализ данных выполнялся без разделения между правым и левым ухом.

Измерения осуществляли при помощи аппаратно-программного комплекса, реализующего двухмикрофонную технику акустических измерений, состоящего из ноутбука с программным обеспечением и акустического интерферометра, подключенного к аудиовыходу ноутбука [11, 14]. Измерение ипсилатерального АР основано на определении резонансной частоты НСП, изменяющейся за счет произвольного сокращения мышц среднего уха в ответ на звуки высокой интенсивности.

Акустический интерферометр с длинной резиновой трубкой (она используется в качестве «горла» резонатора Гельмгольца), оснащенной мягкой насадкой, герметично стыковался с наружным слуховым проходом. В волновод подавались стимулирующий и тестовый полигармонический сигналы [15].

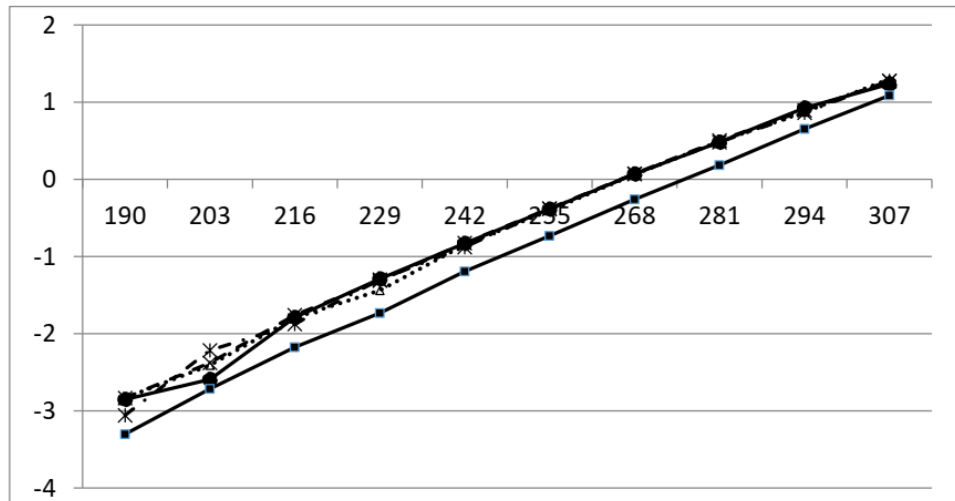
В качестве стимулирующего сигнала использовался чистый тон на частотах 500 Гц, 1 кГц, 2 кГц и 4 кГц. Характеристики стимулирующего сигнала: уровень звукового давления ступенчато изменялся от 76 до 100 дБ с шагом 6 дБ, длительность подачи сигнала одного уровня составляла 5 с, а вся процедура измерения на одном ухе с пятью уровнями и на одной частоте стимулирующего сигнала длилась 30 с [11, 14].

Импедансные характеристики и резонансную частоту НСП определяли путем измерения уровня звукового давления в двух точках акустического интерферометра и разности фаз между ними при подаче полигармонического сигнала в диапазоне частот 190...320 Гц с шагом 13 Гц и уровнем звукового давления не более 70 дБ. Использовались 11 измерительных точек, после измерений рассчитывали импедансные характеристики НСП (рис. 1). Эту процедуру проводили сначала для правого, затем для левого уха.

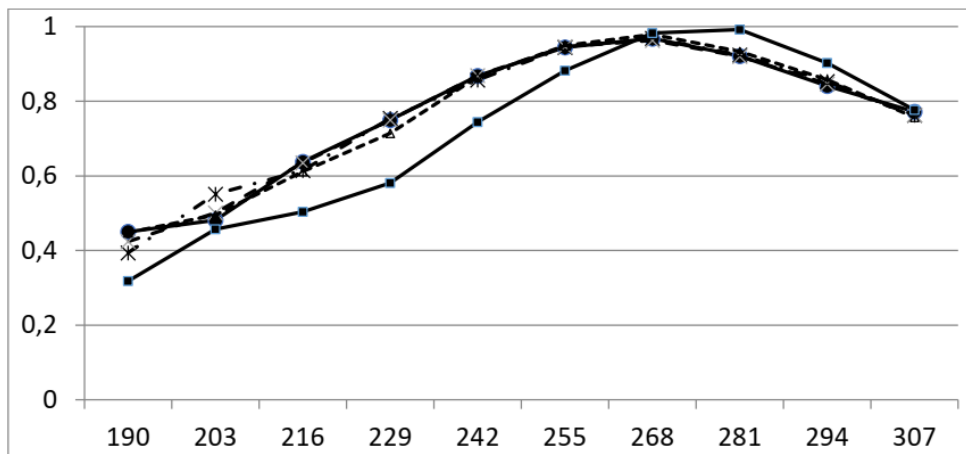
Импедансные характеристики рассчитывали по методикам, изложенным в работах [9, 11, 14, 15].

Принципиальное отличие использованного метода определения порога АР от стандартного (по результатам тимпанометрии) заключается в том, что: существующие тимпанометры не позволяют идентифицировать натяжение стременной или барабанной мышцы НСП при формировании АР; в стандартном методе тимпанометрии происходит накачка воздуха в полость НСП и увеличение давления в ней. Это снижает чувствительность диагностики, поскольку повышение давления в полости НСП приводит к дополнительному натяжению барабанной перепонки.

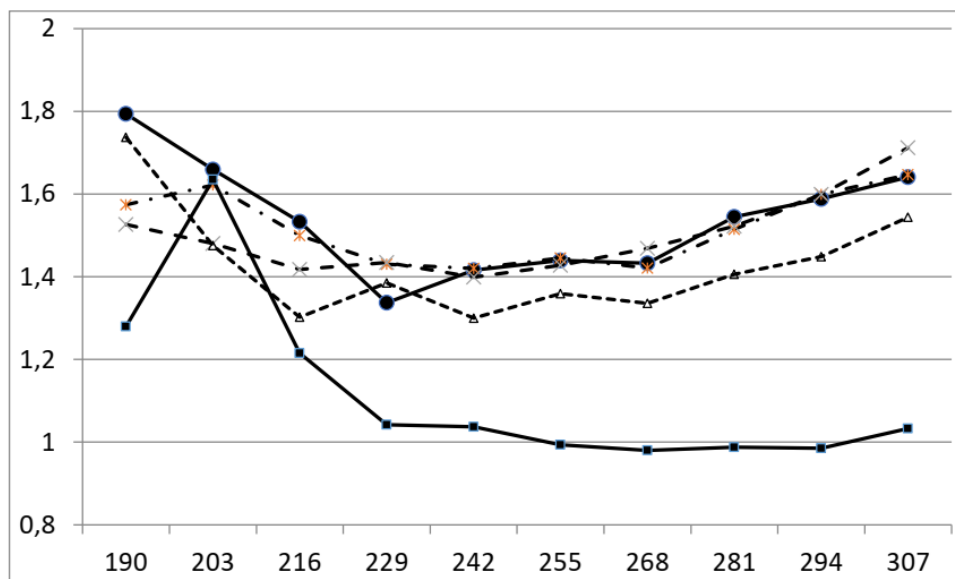
В результате измерений рассчитывают значения резонансных частот, определяемых по максимуму коэффициента поглощения (α) и равенству нулю реактивной компоненты импеданса (Y), а также активную компоненту импеданса ($R1$) НСП. Изменение резонансной частоты свидетельствует о сокращении стременной (если частота увеличилась) или барабанной (если частота уменьшилась) мышцы, а изменения активной компоненты импеданса ($R1$) свидетельствуют об изменении кровенаполнения барабанной перепонки и состояния барабанной полости.



а



б



в

Рис. 1. Зависимость частотных импедансных характеристик НСП:
 а – Y_1 , б – α , в – R_1 – при стимуляции чистым тоном на уровнях звукового давления:
 кружок – 76 дБ, звездочка – 82 дБ, крестик – 88 дБ, треугольник – 94 дБ, квадрат – 100 дБ.
 Оси ординат – безразмерные единицы, оси абсцисс – частота стимулирующего сигнала, Гц

Результаты исследования. В результате исследования получены зависимости частотных импедансных характеристик НСП при стимуляции чистым тоном на уровнях звукового давления 76...100 дБ с частотами стимулирующего сигнала 190...320 Гц.

Результаты исследования свидетельствуют, что порог АР у обследуемого зарегистрирован при уровне звукового давления стимулирующего сигнала 100 дБ. Резонансная частота в невозмущенном состоянии находится в пределах 255 Гц, при повышении уровня стимулирующего сигнала она увеличилась до 270 Гц. На уровнях стимулирующего сигнала 76...94 дБ значения реактивной компоненты и коэффициента поглощения практически не изменяются, а изменения активной компоненты обусловлены погрешностью измерения. Показано, что в исследуемом диапазоне α имеет четко выраженный максимум, $R1$ – неявно выраженный минимум.

Для исследования влияния погрешности измерений на порог АР проведены дополнительные измерения с техническим устройством, представляющим собой физическую модель НСП, изготовленную из цилиндра с диаметром и длиной, равными диаметру и длине НСП, и герметично закрытого с одной стороны.

Поскольку изменение уровня стимулирующего сигнала не приводит к изменению импедансных характеристик технического устройства – физической модели НСП, – нелинейным поглощением звука в заданном диапазоне уровней стимулирующего сигнала можно пренебречь [14, 15]. Однако в связи с тем, что акустический интерферометр оснащен длинной резиновой трубкой с мягкой насадкой на окончании, предназначенной для герметичного соединения с НСП, имеется неопределенность, обусловленная невозможностью одинаково состыковать резиновую трубку с цилиндром. Глубина вхождения мягкой насадки в цилиндр всегда будет отличаться на некоторую величину, что неизбежно приведет к изменению резонансной частоты цилиндра и, соответственно, к изменению регистрируемых характеристик. Поэтому для статистического анализа использованы значения, регистрируемые на одном цикле измерения с пятью уровнями стимулирующего сигнала.

Усредненные результаты измерения импедансных характеристик калибровочного цилиндра – технического устройства, моделирующего НСП, представлены в таблице. Определяли следующие показатели: частота максимума коэффициента поглощения ($F_{\alpha_{\max}}$), максимум коэффициента поглощения (α_{\max}), частота минимума активной компоненты импеданса ($F_{R1_{\min}}$), минимальное значение активной компоненты ($R1_{\min}$), частота равенства нулю реактивной компоненты импеданса ($F_{Y=0}$). В качестве статистических характеристик использовались значения минимума, максимума и средние значения определяемых показателей на всех циклах измерений. В предпоследней строке таблицы представлены максимальные значения стандартных отклонений (СКО) измеряемых показателей, которые определены на каждом отдельном цикле измерений по пяти значениям показателя для каждого уровня стимулирующего

сигнала. Величина СКО, умноженная на коэффициент Стьюдента, используется для определения статистической значимости при определении порога АР (коэффициент Стьюдента для уровня статистической значимости $p < 0,05$ и 15 проведенных измерений равен 2,776).

Отметим, что калибровочные измерения на цилиндре проводили каждый день до начала измерения АР: проведено 15 калибровочных измерений на пяти уровнях стимулирующего сигнала (всего 75 измерений). В последней строке таблицы приведены критические значения определяемых показателей, при превышении которых на указанную величину с увеличением уровня звукового давления стимулирующего сигнала статистически значимо проявляется АР.

Таблица

Описательная статистика импедансных характеристик калибровочного цилиндра – физической модели НСП

Статистические характеристики	$F_{\alpha_{\max}}$, Гц	α_{\max} , ед.	$F_{R1_{\min}}$, Гц	$R1_{\min}$, ед.	$F_{Y=0}$, Гц
Минимальное значение	247,8	0,898	248,9	0,537	248,4
Максимальное значение	261,9	0,916	264,4	0,559	260,8
Среднее значение	257,0	0,905	257,6	0,552	256,9
СКО	0,43	0,003	5,11	0,007	0,22
Критическое значение	1,19	0,0093	14,18	0,0191	0,60

Все измеряемые показатели имеют достаточно (для практики) стабильные значения, за исключением частоты минимума активной компоненты импеданса ($F_{R1_{\min}}$), характеризующей жесткость и кровенаполнение микрососудов барабанной перепонки. Скорее всего, это связано с недостаточно высокой точностью аппроксимации, применяемой для определения минимума величины $R1$.

Таким образом, установлено пять значений критерия, по которым статистически значимо определяется порог АР. На рисунках 2–5 представлены диаграммы вероятностей проявления АР в зависимости от уровня стимулирующего сигнала для разных частот стимуляции, построенные для четырех вариантов использования критериев.

Диаграмма вероятностей проявления порога АР по критерию изменения частоты равенства нулю реактивной компоненты импеданса ($F_{Y=0}$) представлена на рисунке 2. В соответствии с данными таблицы это значение равно 0,6 Гц: то есть АР проявляется при изменении частоты пересечения нуля реактивной компонентой импеданса ($Y1$) более чем на 0,6 Гц.

При использовании критерия по изменению реактивной компоненты импеданса (по изменению резонансной частоты НСП) при уровне стимула

82 дБ максимальная вероятность порога АР (0,563) зарегистрирована на частоте стимуляции 500 Гц. С ростом уровня звукового давления вероятность порога плавно возрастает до 0,8 при уровне 100 дБ, а ее минимальное значение зарегистрировано на частоте 4000 Гц.

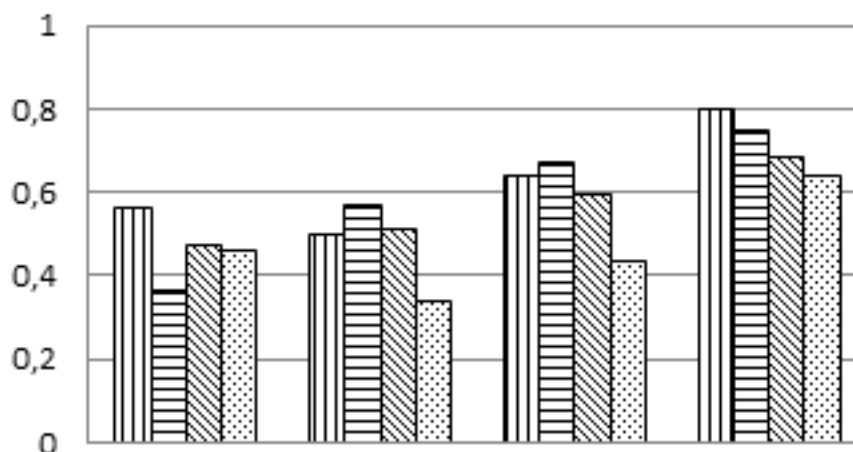


Рис. 2. Вероятности порога АР при применении критерия, определяемого величиной $F_{Y=0}$:

по оси абсцисс – уровень стимулирующего сигнала (первая группа столбцов – 82 дБ, вторая – 88 дБ, третья – 94 дБ, четвертая – 100 дБ), по оси ординат – вероятность регистрации порога АР, ед.; штриховка столбцов обозначает частоту стимулирующего сигнала: вертикальная – 500 Гц, горизонтальная – 1000 Гц, косая – 2000 Гц, точечная – 4000 Гц)

Диаграмма вероятности проявления порога АР по двум критериям: изменение резонансной частоты, определенной по изменению частоты равенства нулю реактивной компоненты импеданса ($F_{Y=0}$) и изменению частоты максимума коэффициента поглощения ($F_{\alpha_{max}}$), представлена на рисунке 3.

Распределение вероятности порога АР в зависимости от уровня и частоты стимула при использовании двух критериев практически ничем не отличается по сравнению с рисунком 2: при использовании двух критериев на уровне стимулирующего сигнала 82 дБ (рис. 3) максимум вероятности порога АР (0,575) также зарегистрирован на частоте стимула 500 Гц. Таким образом, изменения резонансной частоты, регистрируемой по смещению частоты максимума коэффициента поглощения или по смещению пересечения нуля реактивной компонентой импеданса НСП, имеют практически одинаковую статистическую значимость для формирования порога АР.

Диаграмма вероятностей порога АР с использованием трех критериев: дополнительно включен критерий изменения коэффициента поглощения на резонансной частоте (α_{max}), представлена на рисунке 4.

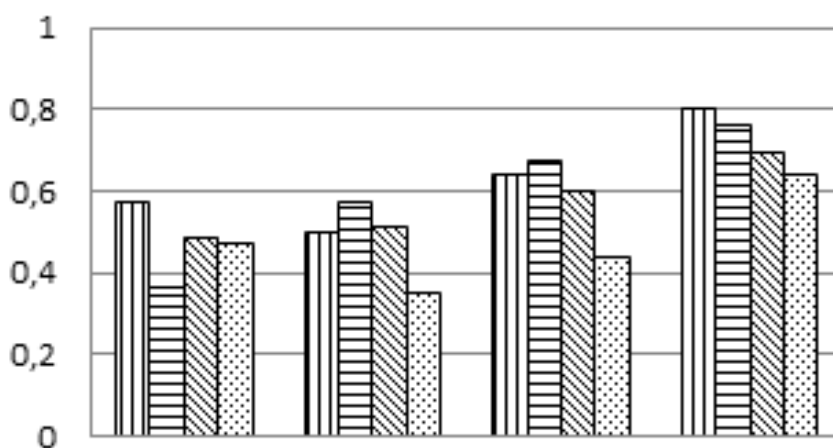


Рис. 3. Вероятности порога АР при применении двух критериев, определяемых величинами: $F_{Y=0}$ и $F_{\alpha_{max}}$
Обозначения – см. подрисуночную подпись к рис. 2

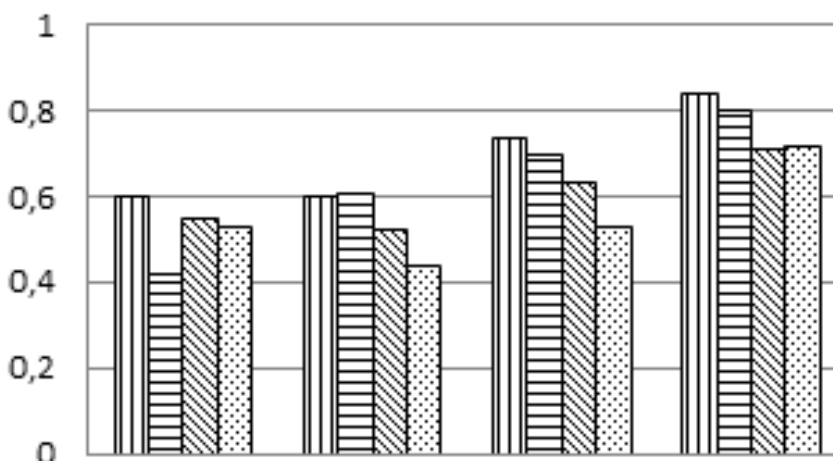


Рис. 4. Вероятности порога АР при применении трех критериев, определяемых величинами: $F_{Y=0}$, $F_{\alpha_{max}}$ и α_{max}
Обозначения – см. подрисуночную подпись к рис. 2

Добавление третьего критерия несколько увеличило вероятность регистрации порога АР в зависимости от уровня и частоты стимула. На уровне стимула 82 дБ максимум вероятности порога АР (0,6) также зарегистрирован для частоты стимула 500 Гц. Для уровня стимула в 100 дБ вероятность порога АР составила 0,838, то есть несколько больше, чем при использовании одного или двух критериев. Характер распределения вероятности по частоте и уровню стимула практически не изменился.

Диаграмма вероятностей порога АР учитывает все пять критериев: дополнительно включены изменение частоты минимума ($F_{R1_{min}}$) и минимальное значение активного сопротивления ($R1_{min}$) (рис. 5).

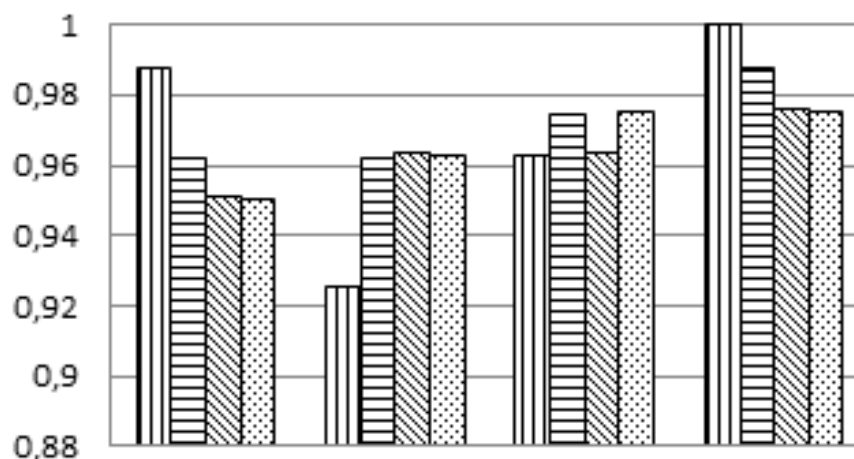


Рис. 5. Вероятности порога АР при применении пяти критериев, определяемых величинами: Y_1 , $F_{\alpha_{\max}}$, α_{\max} , $F_{R1_{\min}}$ и $R1_{\min}$
Обозначения – см. подрисуночную подпись к рис. 2

Распределение вероятности порога АР при использовании всех пяти критериев существенно отличается, тем не менее на частоте 500 Гц имеются более выраженные максимумы (см. рис. 5). Обращает внимание высокое значение вероятности порога АР (0,988) на уровне 82 дБ при частоте стимула 500 Гц. На других частотах при уровне стимула 82 дБ вероятность достигает 0,95...0,96. С увеличением уровня стимула вероятность порога АР снижается. Такое поведение порога АР нехарактерно, поэтому использование в качестве критериальных показателей $F_{R1_{\min}}$ и $R1_{\min}$ нецелесообразно.

Таким образом, определение резонансной частоты по изменению знака реактивной компоненты импеданса ($F_{Y=0}$) – необходимое и достаточное условие объективной регистрации порога АР. При этом для стимулирующего сигнала целесообразно использовать частоту 500 Гц. Для когорты практически здоровых людей вероятность порога АР на уровне стимулирующего сигнала 82...88 дБ будет составлять около 0,6, а при уровнях стимулирующего сигнала до 100 дБ составит 0,8. Этого вполне достаточно для решения задач скрининговых медицинских исследований персонала, подвергающегося сверхнормативному воздействию высокоинтенсивного широкополосного шума.

Это неожиданный результат: предполагалось, что АР чаще будет проявляться на частоте, равной частоте максимальной чувствительности органа слуха – 2...4 кГц. Однако результаты эксперимента свидетельствуют о том, что АР гораздо больше зависит от интенсивности воздействия сверхнормативного шума, чем от чувствительности органа слуха.

Выводы. Разработанный критерий регистрации АР позволяет объективно оценить безопасность условий труда (с точки зрения характеристик акустической обстановки) и эффективность (с точки зрения защиты органа слуха от шума) любых средств защиты от шума. Перспективы дальнейших исследований определяются применением разработанного критерия при обосновании

мероприятий по сохранению здоровья, обеспечения работоспособности и продлению профессионального долголетия персонала, подвергающегося сверхнормативному воздействию высокоинтенсивного широкополосного шума.

Список литературы / References

1. Шешегов, П. М. Особенности клинических проявлений профессиональной нейросенсорной тугоухости в зависимости от спектра шума / П. М. Шешегов, Л. П. Сливина, В. Н. Зинкин // *Врач.* – 2021. – Т. 32, № 12. – С. 69–75. DOI: 10.29296/25877305-2021-12-11. EDN: EUYBTP.

Sheshegov, P. M., Slivina, L. P., Zinkin, V. N. *Osobennosti klinicheskikh proyavlenij professional'noj nejrosensornoj tugouhosti v zavisimosti ot spektra shuma* [Features of clinical manifestations of occupational sensorineural hearing loss depending on the noise spectrum]. *Doctor*, 2021, vol. 32, no. 12, pp. 69-75. (In Russian)

2. Волохов, Л. Л. Современные представления о профпригодности работников регламентированных профессий с патологией среднего уха и возможности их возврата к труду (аналитический обзор литературы) / Л. Л. Волохов, В. Б. Панкова // *Вестник оториноларингологии.* – 2020. – Т. 85, № 4. – С. 58–64. DOI: 10.17116/otorino20208504158. EDN: MLUZTK.

Volokhov, L. L., Pankova, V. B. *Sovremennye predstavleniya o profprigodnosti rabotnikov reglamentirovannykh professij s patologiej srednego uha i vozmozhnosti ih vozvrata k trudu (analiticheskij obzor literatury)* [Modern ideas about the professional suitability of workers in regulated professions with pathology of the middle ear and the possibility of their return to work (an analytical review of the literature)]. *Bulletin of Otorhinolaryngology*, 2020, vol. 85, no. 4, pp. 58-64. (In Russian)

3. Пошаговый алгоритм диагностики, экспертизы и оценки профпригодности при потере слуха от воздействия шума / В. Б. Панкова, И. Н. Федина, П. В. Серебряков, Л. Л. Волохов, Н. Г. Бомштейн // *Наука и инновации в медицине.* – 2020. – Т. 5, № 1. – С. 58–61. DOI: 10.35693/2500-1388-2020-5-1-58-61. EDN: DMBTSL.

Pankova, V. B., Fedina, I. N., Serebryakov, P. V., Volokhov, L. L., Bomshtein, N. G. *Poshagovyj algoritm diagnostiki, ekspertizy i ocenki profprigodnosti pri potere sluha ot vozdejstviya shuma* [Step-by-step algorithm for diagnosis, examination and assessment of professional suitability for hearing loss from noise exposure]. *Science and innovations in medicine*. 2020, vol. 5, no. 1, pp. 58-61. (In Russian)

4. Сафонов, В. И. Оценка вредного воздействия производственного шума и вибрации на здоровье человека / В. И. Сафонов, Е. Н. Шелемей // *Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля.* – 2022. – № 3(57). – С. 216–220. EDN: WZQACU.

Safonov, V. I., Shelemey, E. N. *Otsenka vrednogo vozdejstviya proizvodstvennogo shuma i vibracii na zdorov'e cheloveka* [Assessment of the harmful effects of industrial noise and vibration on human health]. *Bulletin of Lugansk State University named after Vladimir Dahl*. 2022, vol. 57, no. 3, pp. 216-220. (In Russian)

5. Зинкин, В. Н. Механизмы действия авиационного шума на профессиональную работоспособность и надежность / В. Н. Зинкин, П. М. Шешегов // *Noise Theory and Practice*. – 2021. – Т. 7, № 2(24). – С. 165–182. EDN: OKZXGF.

Zinkin, V. N., Sheshegov, P. M. *Mekhanizmy deystviya aviatsionnogo shuma na professional'nyu rabotosposobnost' i nadezhnost'* [Mechanisms of the effect of aircraft noise on professional performance and reliability]. *Noise Theory and Practice*, 2021, vol. 7. no. 2, pp. 165-182. (In Russian)

6. Мяков, В. В. Анализ профессионального риска воздействия шума и вибрации на работников нефтяных шахт / В. В. Мяков, Г. И. Коршунов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13, № 1(65). – С. 164–169. EDN: SVJMRC.

Myakov, V. V., Korshunov, G. I. *Analiz professional'nogo riska vozdeystviya shuma i vibratsii na rabotnikov neftyanyh shakht* [Analysis of the professional risk of exposure to noise and vibration among oil mine workers]. *XXI century: results of the past and problems of the present plus*. 2024, vol. 13, no. 1, pp. 164-169. (In Russian)

7. Оценка прогнозирования и управления рисками для здоровья работающих (обзор литературы) / И. В. Яцына, А. В. Сухова, Е. А. Преображенская, А. М. Егорова // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 10. – С. 1249–1254. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1249-1254. EDN: YRGCFT.

Yatsyna, I. V., Sukhova, A. V., Preobrazhenskaya, E. A., Egorova, A. M. *Otsenka prognozirovaniya i upravleniya riskami dlya zdorov'ya rabotayushchih (obzor literatury)* [Assessment of forecasting and risk management for workers' health (literature review)]. *Hygiene and Sanitation*, 2022, vol. 101, no. 10, pp. 1249-1254. (In Russian)

8. Инфразвук и низкочастотный шум как вредные производственные факторы / Л. П. Сливина, Д. А. Куклин, П. В. Матвеев, П. М. Шешегов, В. Н. Зинкин // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 2. – С. 24–30. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-2-24-30. EDN: QQSGGY.

Slivina, L. P., Kuklin, D. A., Matveev, P. V., Sheshegov, P. M., Zinkin, V. N. *Infravzruk i nizkochastotnyy shum kak vrednye proizvodstvennyye faktory* [Infrasound and low-frequency noise as harmful production factors]. *Occupational safety in industry*, 2020, no. 2, pp. 24-30. (In Russian)

9. Драган, С. П. Метод оценивания акустической безопасности человека / С. П. Драган, А. В. Богомолов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2021. – Т. 13, № 1. – С. 259–278. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-1-259-278. EDN: IMGZAZ.

Dragan, S. P., Bogomolov, A. V. *Metod otsenivaniya akusticheskoy bezopasnosti cheloveka* [Method for assessing human acoustic safety]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 259-278. (In Russian)

10. К вопросу учета новых факторов в патогенезе профессиональной потери слуха (на примере работников транспорта) / В. Б. Панкова, М. Ф. Вильк, Е. В. Зибарев, И. Н. Федина // Медицина труда и промышленная экология. –

2022. – Т. 62, № 8. – С. 488–500. DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-8-488-500. EDN: HQFNRR.

Pankova, V. B., Vilk, M. F., Zibarev, E. V., Fedina, I. N. *K voprosu uchyota novykh faktorov v patogeneze professional'noy poteri slukha (na primere rabotnikov transporta)* [On the issue of taking into account new factors in the pathogenesis of occupational hearing loss (using the example of transport workers)]. *Occupational Medicine and Industrial Ecology*. 2022, vol. 62, no. 8, pp. 488-500. (In Russian)

11. Драган, С. П. Критерии диагностики состояния органа слуха по результатам исследования акустического рефлекса / С. П. Драган, И. В. Оленина, А. В. Богомолов // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 3. – С. 247–251. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-3-247-251. EDN: MLWDYY.

Dragan, S. P., Olenina, I. V., Bogomolov, A. V. *Kriterii diagnostiki sostoyaniya organa slukha po rezul'tatam issledovaniya akusticheskogo refleksa* [Criteria for diagnosing the condition of the hearing organ based on the results of a study of the acoustic reflex]. *Hygiene and Sanitation*, 2023, vol. 102, no. 3, pp. 247-251. (In Russian)

12. Зинкин, В. Н. Помеховое и маскирующее действие высокоинтенсивного шума и способы их снижения / В. Н. Зинкин, П. М. Шешегов // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2021. – Т. 55, № 6. – С. 5–12. DOI: 10.21687/0233-528X-2021-55-6-5-12. EDN: WEDJNG.

Zinkin, V. N., Sheshegov, P. M. *Pomekhovoe i maskiruyushchee deystvie vysokointensivnogo shuma i sposoby ikh snizheniya* [Interference and masking effects of high-intensity noise and ways to reduce them]. *Aerospace and environmental medicine*, 2021, vol. 55, no. 6, pp. 5-12. (In Russian)

13. Новые критерии профотбора и профпригодности по слуху для работы в условиях воздействия производственных вредностей / В. Б. Панкова, М. Ф. Вильк, И. Н. Федина, И. В. Бухтияров, Н. А. Дайхес, Г. А. Таварткиладзе, Л. Л. Волохов // Вестник оториноларингологии. – 2022. – Т. 87, № 3. – С. 57–62. DOI: 10.17116/otorino20228703157. EDN: MQOZWS.

Pankova, V. B., Vilk, M. F., Fedina, I. N., Bukhtiyarov, I. V., Daikhes, N. A., Tavartkiladze, G. A., Volokhov, L. L. *Novye kriterii profotbora i profprigodnosti po slukhu dlya raboty v usloviyah vozdeystviya proizvodstvennykh vrednostey* [New criteria for professional selection and professional suitability for hearing for work in conditions of exposure to industrial hazards]. *Bulletin of Otorhinolaryngology*. 2022, vol. 87, no. 3, pp. 57-62. (In Russian)

14. Богомолов, А. В. Аппаратно-программный комплекс для ипсилатерального измерения порога акустического рефлекса / А. В. Богомолов, С. П. Драган, И. В. Оленина // Приборы и техника эксперимента. – 2021. – № 4. – С. 95–104. DOI: 10.31857/S0032816221040029. EDN: JNALIO.

Bogomolov, A. V., Dragan, S. P., Olenina, I. V. *Apparatno-programmnyy kompleks dlya ipsilateral'nogo izmereniya poroga akusticheskogo refleksa* [Hardware and software complex for ipsilateral measurement of the acoustic reflex threshold]. *Instruments and experimental equipment*, 2021, no. 4, pp. 95-104. (In Russian)

15. Богомолов, А. В. Новый подход к исследованию импедансных характеристик барабанной перепонки / А. В. Богомолов, С. П. Драган // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 464, № 1. – С. 105. DOI 10.7868/S0869565215250246. EDN UDFDPX.

Bogomolov, A. V., Dragan, S. P. *Novyy podkhod k issledovaniyu impedansnykh harakteristik barabannoy pereponki* [A new approach to the study of the impedance characteristics of the eardrum]. *Reports of the Academy of Sciences*, 2015, vol. 464, no. 1, p. 105. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром мед. наук В. В. Черкесовым
Дата поступления рукописи 29.07.2024
Дата опубликования 19.09.2024

Sergey Pavlovich Dragan, Dr. Tech. Sciences, Associate Professor; e-mail: s.p.dragan@rambler.ru;
Roman Konstantinovich Kovalyev, graduate student; e-mail: kovalevrk@bmstu.ru;
Alexey Valer'evich Bogomolov, Dr. Tech. Sciences, Professor; e-mail: a.v.bogomolov@gmail.com;
Vladimir Yurievich Lizunov, Cand. Med. Sciences, Associate Professor; e-mail: profimedliz@narod.ru
Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of the FMBA of Russia
123098, Moscow, ulitsa Marshala Novikova, 23. Phone: +7 (499) 638-32-58; +7 (499) 190-85-55

CRITERIA FOR REGISTRATION OF THE ACOUSTIC REFLEX OF THE HEARING ORGAN

Objective. Theoretical and experimental substantiation of the criterion for recording the acoustic reflex to determine safe working conditions for workers exposed to excess exposure to high-intensity broadband noise.

Methods. Measurements of the acoustic impedance characteristics of the external auditory canal in 37 practically healthy subjects aged from 22 to 62 years were carried out using a hardware and software complex that implements a two-microphone acoustic measurement technique. Processing of measurement results was carried out using methods of mathematical statistics.

Results. It has been shown that the variation of the resonant frequency determined by the sign change of the reactive component of the impedance of the external auditory passage is a necessary and sufficient condition for the objective determination of the acoustic reflex threshold. Thus for a cohort of practically healthy people when using a stimulus signal of frequency 500 Hz with a sound pressure level of 82-100 dB the probability of correct registration of the acoustic reflex will be about 0.8, which is acceptable for solving medical research screening problems.

Scientific novelty. It has been shown that the acoustic reflex, as a protective response of the body, is more often formed at frequencies of 500 and 1000 Hz rather than at the frequencies of maximum sensitivity of the auditory organ, and is determined by the overall exposure to supernormal noise. The criterion of objective registration of the acoustic reflex of the organ of hearing is justified in relation to solving the problems of developing measures to preserve health, ensure performance and prolong occupational longevity of personnel exposed to supernormal exposure to high-intensity broadband noise.

Practical value. The developed criterion for recording the acoustic reflex allows us to objectively assess the safety of working conditions (from the point of view of the characteristics of the acoustic environment) and the effectiveness (from the point of view of protecting the hearing organ from noise) of any means of noise protection.

Keywords: *occupational safety; acoustic safety; noise protection; acoustic reflex; high-intensity noise; excess noise; broadband noise; effectiveness of noise protection.*

For citation: Dragan S. P., Kovalyev R. K., Bogomolov A. V., Lizunov V. Yu. Criteria for recording the acoustic reflex of the hearing organ. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 3(61), pp. 69–81. EDN FCEALU.

III. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

УДК [614.844.2:532.525.3]:[532.529.5:001.891.572]

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

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

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

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

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

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

МЕТОДЫ ТЕОРИИ ДВУХФАЗНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ГАЗОВОГО И КАПЕЛЬНОГО ПОТОКОВ НА ВХОДЕ СОПЛА

Цель. Обоснование выбора начальных условий системы дифференциальных уравнений двухфазного потока для повышения точности газодинамических расчетов.

Методы. Аналитические методы исследований двухфазных течений в камере смешивания газового и капельного потоков.

Результаты. Приведен алгоритм определения скоростей течения со скольжением газовой и капельной фаз в камере смешивания на входе газокapельного сопла, выполнены два варианта числовых расчетов.

Научная новизна. Впервые аналитическое определение скоростей течения со скольжением газовой и капельной фаз в камере смешивания газокapельного сопла сведено к решению задачи установления истинных скоростей двухфазного течения в трубопроводе.

Практическая значимость. Разработанный алгоритм позволяет аналитически обосновать и численно определить начальные условия на входе в газокapельное сопло (скорости газа и капель) для решения дифференциальных уравнений движения газокapельного потока, что повышает точность и достоверность результатов расчетов и эффективность газокapельного сопла.

Ключевые слова: *газокapельное сопло; газовая фаза; капельная фаза; истинная скорость газа; истинная скорость капель; двухфазное течение; камера смешивания.*

Для цитирования: *Агеев В. Г., Пештибай Г. И., Галухин Н. А., Медгаус В. М. Методы теории двухфазных течений в задаче определения скоростей газового и капельного потоков на входе сопла // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 3(61). – С. 82–92. EDN FJLCIZ.*

Постановка проблемы. Повышение эффективности работы установок для тушения пожаров тонкораспыленной водой достигается за счет интенсификации фазовых превращений капельной жидкости в пар, сокращения расхода воды, уменьшения ущерба от пожаротушения.

Для реализации данных преимуществ к геометрическому профилю канала газокapельного сопла установки предъявляются особые требования. Классический подход для оптимизации конструктивных параметров состоит в использовании системы дифференциальных и алгебраических уравнений для определения функциональной зависимости диаметра канала от продольной

координаты сопла. Для решения дифференциальных уравнений требуется задать начальные условия для скоростей газа и капель на входе в газокапельное сопло. В стандартной постановке задачи определения газодинамических параметров считается, что входные параметры (начальные скорости и температуры газа и капель, диаметр капель и другие) – заданные величины, что справедливо при рассмотрении обособленного газокапельного сопла. В пожаротушащей установке на входе в газокапельное сопло расположена камера смешивания, в которой происходит первичное каплеобразование, а скорости движения газа и капель сложным образом зависят от конструктивных и термодинамических параметров камеры смешивания. В ряде работ авторы приводят различные числовые значения скоростей, однако не существует обобщений, которые можно рекомендовать для инженерных расчетов, отсутствуют аналитические решения вышеуказанной задачи.

Анализ последних исследований. Для моделирования процесса разгона капельной фазы, а также для определения оптимального геометрического профиля канала газокапельного сопла используют систему дифференциальных и алгебраических уравнений [1–3], составленную относительно неизвестных функций скоростей газовой и капельной (дисперсной) фаз. Для решения системы дифференциальных уравнений необходимо задание начальных условий для скоростей газовой и капельной фаз на входе в газокапельное сопло.

В исследования [4] автор предлагает использовать авиационный газотурбинный двигатель в системе газокапельного пожаротушения большой мощности и дальности подачи тонкораспыленной воды, получаемой на срезе газокапельного сопла. При этом в качестве граничных значений скоростей течений газовой и капельной фаз приняты одинаковые значения, равные 35 м/с без объяснения такого выбора. Работа [5] изобилует различными графиками расчета функций скоростей газовой и капельной фаз вдоль газокапельного сопла. В каждом из графиков приняты несовпадающие значения начальных скоростей газа и капель, например, для рисунка 3 $u_z = u_k = 12$ м/с, а для рисунка 8 $u_z = u_k = 18$ м/с. Для решения дифференциальных уравнений в той же работе автор предлагает выбирать скорость капель, «задавшись минимальной скоростью (менее 0,1 м/с)». В работе [6] приняты граничные условия для скоростей газа и капель, соответствующие течению без скольжения, т.е. с одинаковыми скоростями, равными 5 м/с.

Результаты исследований. Конструктивная схема соединения камеры смешивания с газокапельным соплом представлена на рисунке.

В камере смешивания впервые образуется газокапельная смесь, которая проходя через газокапельное сопло выбрасывается в атмосферу с высокой скоростью. Скорость входа газа u_{zo} , м/с, и капельной жидкости u_{ko} , м/с, в газокапельное сопло – важные параметры, определяющие скорости газа u_{zcp} , м/с, и капель u_{kcp} , м/с, на срезе сопла. Кроме того, u_{zo} и u_{ko} являются

начальными условиями для дифференциальных уравнений, описывающих процессы движения газа и капель вдоль газокapельного сопла.

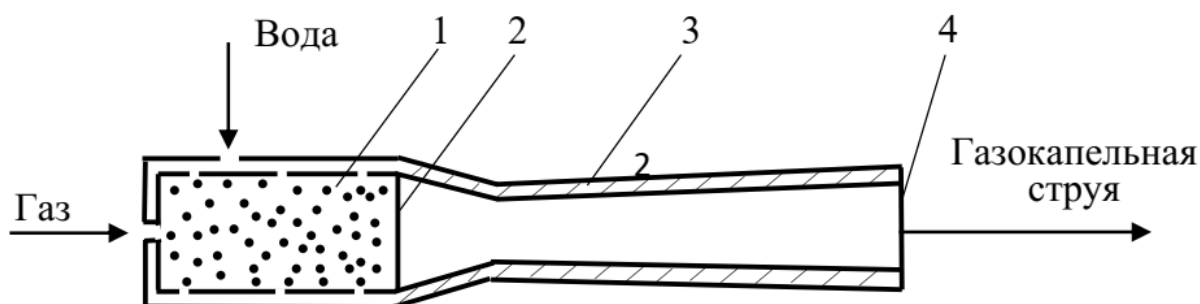


Рис. Конструктивная схема соединения камеры смешивания с газокapельным соплом:

1 – камера смешивания; 2 – входное сечение; 3 – газокapельное сопло; 4 – сечение среза

Сложность и неоднозначность решения задачи состоит в том, что течение фаз в камере смешивания происходит с неодинаковыми скоростями, причем граница раздела фаз также неизвестна, что делает невозможным применение классического метода расчета для однофазных потоков, для которых течение занимает всю площадь поперечного сечения камеры смешивания (или трубопровода). Кроме того, плотность газокapельной смеси существенно зависит от скоростей течения фаз. В гомогенной смеси плотность не зависит от скоростей, поскольку они одинаковы и расчет ведется аналогично однофазному течению. В двухфазных течениях с увеличением скорости фазы с более высокой плотностью соответствующая плотность газокapельной смеси также увеличивается, что необходимо учитывать в гидравлических расчетах.

Таким образом, при выборе подхода к решению задачи расчета фазовых скоростей в камере смешивания должны быть учтены следующие особенности:

- скорости фаз неодинаковые;
- плотности фаз неодинаковые;
- плотность газокapельной смеси зависит от соотношения скоростей фаз;
- температура газовой и капельной фаз одинакова ввиду изотермичности газовых процессов в камере смешивания.

По нашему мнению, наиболее соответствует указанным особенностям теория двухфазных течений в трубопроводах, применение которой позволит в значительной мере учесть указанные особенности условий двухфазного течения в камере смешивания.

Применение методов механики многофазных течений в трубопроводах для определения истинных скоростей течений газа и капель в камере смешивания позволит решить задачу приближенно в случае скольжения фазовых потоков. Для этого запишем уравнения массового расхода газа и капель в камере смешивания

$$M_{\Gamma} = \rho_{\Gamma\text{СМ}} F_{\Gamma\text{СМ}} u_{\Gamma\text{СМ}}; \quad (1)$$

$$M_{\text{К}} = \rho_{\text{КСМ}} F_{\text{КСМ}} u_{\text{КСМ}}; \quad (2)$$

где M_{Γ} – массовый расход газа, кг/с;

$\rho_{\Gamma\text{СМ}}$ – плотность газа, кг/м³;

$F_{\Gamma\text{СМ}}$ – площадь сечения камеры смешивания, занимаемая газовой фазой, м²;

$u_{\Gamma\text{СМ}}$ – скорость газа относительно стенок камеры смешивания, м/с;

$M_{\text{К}}$ – массовый расход капель, кг/с;

$\rho_{\text{КСМ}}$ – плотность вещества капель, кг/м³;

$F_{\text{КСМ}}$ – площадь сечения камеры смешивания, занимаемая каплями, м²;

$u_{\text{КСМ}}$ – скорость капель относительно стенок камеры смешивания, м/с.

Тогда массовая скорость G , кг/(с · м²), газокапельной смеси на основании уравнений (1), (2) равна

$$G = \frac{M_{\Gamma} + M_{\text{К}}}{F}, \quad (3)$$

где F – площадь поперечного сечения камеры смешивания, м².

Расходное массовое газосодержание γ находим по формуле

$$\gamma = \frac{G_{\Gamma}}{G} = \frac{M_{\Gamma}}{M_{\Gamma} + M_{\text{К}}}, \quad (4)$$

где $G_{\Gamma} = \frac{M_{\Gamma}}{F}$ – массовая скорость газовой фазы, кг/(с · м²).

По расходному массовому газосодержанию γ и массовой скорости газокапельной смеси G находим приведенные скорости газовой $u_{\Gamma\text{П}}$ и капельной $u_{\text{КП}}$ фаз, м/с

$$u_{\Gamma\text{П}} = \frac{\gamma M v_{\Gamma}}{F}, \quad u_{\text{КП}} = \frac{(1 - \gamma) M v_{\text{К}}}{F}, \quad (5)$$

где $M = M_{\Gamma} + M_{\text{К}}$ – массовый расход газовой фазы, кг/с;

v_{Γ} , $v_{\text{К}}$ – удельный (массовый) объем газа и капель при термодинамических условиях камеры смешивания, м³/кг.

Коэффициент скорости выберем на основе рекомендаций [7]

$$K = \left(\frac{v_{\Gamma\text{ОМ}}}{v_{\text{К}}} \right)^{0,5}, \quad (6)$$

где $v_{\Gamma\text{ОМ}}$ – удельный объем гомогенной смеси, м³/кг.

Удельный объем гомогенной смеси можно определить, используя общую формулу для плотности газочапельной смеси [7] при $K = 1$

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\gamma + K(1 - \gamma)}{\gamma / \rho_{\Gamma} + K(1 - \gamma) / \rho_{\text{к}}}, \quad (7)$$

где $\rho_{\text{см}}$ – плотность смеси, кг/м³;

$\rho_{\Gamma}, \rho_{\text{к}}$ – плотности газа и капель, кг/м³.

Полагая в формуле (7) $K = 1$ и переходя от $\rho_{\text{см}}$ к $v_{\text{гом}}$ по формуле $v_{\text{гом}} = 1/\rho_{\text{см}}$, получаем

$$\frac{v_{\text{гом}}}{v_{\text{к}}} = 1 + \left(\frac{v_{\Gamma}}{v_{\text{к}}} - 1 \right) \gamma. \quad (8)$$

Подставляя отношение $v_{\text{гом}}/v_{\text{к}}$ из правой части уравнения (8) в уравнение (6), получаем

$$K = \sqrt{1 + \left(\frac{v_{\Gamma}}{v_{\text{к}}} - 1 \right) \gamma}. \quad (9)$$

Истинное объемное газосодержание ξ и истинное объемное содержание капель $1 - \xi$, представляющие собой отношения площади поперечного сечения занимаемой фазой к площади поперечного сечения камеры смешивания, находим по следующим формулам:

$$\xi = \frac{F_{\text{гсм}}}{F} = \frac{\gamma v_{\Gamma}}{\gamma v_{\Gamma} + K(1 - \gamma) v_{\text{к}}}, \quad (10)$$

$$1 - \xi = \frac{F_{\text{ксм}}}{F} = \frac{K(1 - \gamma) v_{\Gamma}}{\gamma v_{\Gamma} + K(1 - \gamma) v_{\text{к}}}. \quad (11)$$

Истинные объемные фазовые скорости и гомогенную скорость смеси находим, используя выражения (10), (11)

$$u_{\Gamma} = G \left[\gamma v_{\Gamma} + K(1 - \gamma) v_{\text{к}} \right], \quad (12)$$

$$u_{\text{к}} = \frac{G}{K} \left[\gamma v_{\Gamma} + K(1 - \gamma) v_{\text{к}} \right] = \frac{u_{\Gamma}}{K}, \quad (13)$$

$$u_{\text{гом}} = G \left[\gamma u_{\Gamma} + (1 - \gamma) u_{\text{к}} \right], \quad (14)$$

Пример числового расчета истинных скоростей газовой и капельной фаз в камере смешивания приведем для следующих исходных данных: $M_{\Gamma} = 0,012$ кг/с, $M_{\text{к}} = 0,336$ кг/с, $\rho_{\Gamma} = 6,025$ кг/м³ (при давлении в камере смешивания $P = 0,5$ МПа), $\rho_{\text{к}} = 1000$ кг/м³, $F = 0,15386 \cdot 10^{-3}$ м².

Массовую скорость вычисляем по формуле (3)

$$G = \frac{0,012 + 0,336}{0,15386 \cdot 10^{-3}} = 2261,796 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Массовое газосодержание рассчитываем по формуле (4)

$$\gamma = \frac{G_{\Gamma}}{G} = \frac{M_{\Gamma}}{M_{\Gamma} + M_{\text{к}}} = \frac{0,012}{0,012 + 0,336} = 0,034.$$

Приведенные скорости газовой и капельной фаз находим по формуле (5)

$$u_{\text{гп}} = 0,034 \cdot 2261,796 \cdot 0,166 = 12,77 \text{ м/с};$$

$$u_{\text{кп}} = (1 - 0,034) \cdot 2261,796 \cdot 0,001 = 2,18 \text{ м/с}.$$

Отношение удельных объемов гомогенной смеси и капельного потока рассчитываем по формуле (8)

$$v_{\text{гом}} / v_{\text{к}} = 1 + \left(\frac{0,166}{0,001} - 1 \right) \cdot 0,034 = 6,61.$$

Коэффициент скорости получаем, используя формулу (9)

$$K = \sqrt{6,61} = 2,571.$$

Истинное объемное газосодержание определяем по формуле (10)

$$\xi = \frac{0,034 + 0,166}{0,034 \cdot 0,166 + 2,571 \cdot (1 - 0,034) \cdot 0,001} = 0,694.$$

Истинное объемное содержание капель жидкости находим по формуле (11)

$$1 - \xi = 1 - 0,694 = 0,306.$$

Истинные объемные скорости газового, капельного течения и гомогенной смеси вычисляем по формулам (12) – (14)

$$u_r = 2261,796 \cdot [0,034 \cdot 0,166 + 2,571 \cdot (1 - 0,034) \cdot 0,001] = 18,38 \text{ м/с};$$

$$u_k = \frac{18,38}{2,571} = 7,15 \text{ м/с};$$

$$u_{\text{гом}} = 2261,796 \cdot [0,034 \cdot 0,166 + (1 - 0,034) \cdot 0,001] = 14,95 \text{ м/с}.$$

Скорость скольжения фаз $u_{\text{ск}}$, м/с, находим по формуле

$$u_{\text{ск}} = u_r - u_k = 11,2 \text{ м/с}.$$

Следует иметь в виду, что полученные числовые значения скоростей течения фаз в камере смешивания – приближенные, поскольку формула для коэффициента скорости эмпирическая, а точные аналитические выражения отсутствуют. Существуют и другие рекомендации для расчета скоростей газового и капельного течений, движущихся со скольжением, например, предлагается выбирать

$$\xi = 0,833\beta, \quad (15)$$

где β – расходное газосодержание.

Расходное газосодержание вычислим по формуле

$$\beta = \frac{Q_r}{Q_r + Q_k}, \quad (16)$$

где Q_r , Q_k – объемный расход газа и капель, м³/с.

Так как $Q_r = M_r/\rho_r$, $Q_k = M_k/\rho_k$, то после подстановки Q_r и Q_k в формулу (16) получаем

$$\beta = \frac{M_r \rho_k}{M_r \rho_k + M_k \rho_r}. \quad (17)$$

Подставляя исходные данные в формулу (17), получаем

$$\beta = \frac{0,012 \cdot 1000}{0,012 \cdot 1000 + 0,336 \cdot 6,025} = 0,9085.$$

Вычислив β , находим по формуле (15)

$$\xi = 0,833 \cdot 0,9085 = 0,757.$$

Тогда истинные скорости газа и капель находим по уравнениям

$$u_{\Gamma} = u_{\Gamma\text{п}} / \xi, u_{\kappa} = u_{\kappa\text{п}} / (1 - \xi). \quad (18)$$

Подставляя в формулу (18) ранее найденные величины ξ , $u_{\Gamma\text{п}}$, $u_{\kappa\text{п}}$, получаем

$$u_{\Gamma} = \frac{12,77}{0,757} = 16,87 \text{ м/с}, u_{\kappa} = \frac{2,18}{1-0,757} = 8,96 \text{ м/с}.$$

В таблице приведены сравнительные данные истинных скоростей, рассчитанных различными способами.

Таблица

Значения истинных скоростей фаз

Способ 1		Способ 2	
u_{Γ} , м/с	u_{κ} , м/с	u_{Γ} , м/с	u_{κ} , м/с
18,38	7,15	16,87	8,96

Абсолютные погрешности между истинными скоростями практически равны: для газовой фазы 1,51 м/с, для капельной фазы 1,81 м/с, а относительные погрешности соответствующих фаз равны 8,2 % и 25,3 %.

Выводы. Выполненные исследования процессов течения газовой и капельной фаз в камере смешивания позволяют обосновать выбор начальных условий при решении системы дифференциальных уравнений двухфазного потока вдоль профилированного канала газокапельного сопла пожаротушающей установки для повышения точности газодинамических расчетов.

Список литературы / References

1. Пашковский, П. С. Газодинамические процессы в разгонном сопле пожаротушающего устройства / П. С. Пашковский, Г. И. Пештибай, Н. А. Галухин // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2018. – № 2(55). – С. 53–63.

Pashkovsky, P. S. *Gazodinamicheskiye protsessy v razgonnom sople pozharotushashchego ustroystva* [Gas-dynamic processes in the acceleration nozzle of a fire extinguishing device]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator"*, 2018, no. 2(55), pp. 53-63. (In Russian)

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

Yefimenko, V. L. *Obosnovaniye geometricheskikh parametrov sopla pozharotushashchego ustroystva* [Justification of geometric parameters of the nozzle of a fire extinguishing device]. *Vestnik Akademii grazhdanskoj zashchity*, 2022, no. 2(30), pp. 12-17. (In Russian)

3. 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; ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР». – Донецк, 2022. – 20 с. – Место защиты: ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР».

Yefimenko, V. L. *Povysheniye effektivnosti ustroystv pozharotusheniya s gazodinamicheskim printsipom raspyleniya zhidkosti : dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Improving the efficiency of fire extinguishing devices with gas-dynamic principle of liquid spraying : 05.26.03 “Fire and industrial safety (by industry) (technical sciences)” specialty : Candidate of Technical Sciences dissertation / Yefimenko Vitaly Leonidovich]. – Donetsk, 2022, 20 p. – Place of thesis defence: State Budgetary Institution “Research Institute “Respirator” of the Ministry of Emergency Situations of the DPR”. (In Russian)

4. Истомин, Е. А. Авиационный ГТД в системе пожаротушения большой мощности и дальности действия : специальность 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Истомин Евгений Андреевич; Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – Москва, 2012. – 26 с. – Место защиты: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет).

Istomin, E.A. *Aviatsionnyy GTD v sisteme pozharotusheniya bol'shoymoshchnosti i dal'nosti deystviya : dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Aviation gas turbine engine in a high-power, long-range fire extinguishing system : 05.07.05 “Thermal, electric rocket engines and power plants of aircraft” specialty: Candidate of Technical Sciences dissertation / Istomin Evgeny Andreyevich]. Moscow, 2012, 26 p. Place of thesis defence: Moscow Aviation Institute (National Research University). (In Russian)

5. Ципенко, А. В. Теория и методы повышения эффективности противопожарных систем на воздушном транспорте специальность 05.26.02 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях (на воздушном транспорте)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Ципенко Антон Владимирович; НИИ НТ МАИ. – Москва, 2006. – 41 с. – Место защиты: ФГУП ГосНИИ ГА.

Tsipenko, A. V. *Teoriya i metody povysheniya effektivnosti protivopozharnykh sistem na vozdushnom transporte : dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni*

kandidata tekhnicheskikh nauk [Theory and methods of increasing the efficiency of fire protection systems in air transport : 05.26.02 “Emergency Safety (Air Transport)” specialty: Candidate of Technical Sciences dissertation / Tsipenko Anton Vladimirovich]; Research Institute of Scientific Research MAI. Moscow, 2006, 41 p. Place of thesis defence: State Research Institute of Civil Aviation. (In Russian)

6. Воронцовский, А. В. Экспериментальные и теоретические исследования двухфазных газодропелных течений в соплах и струях с высокой массовой концентрацией жидкости в газе : специальность 05.07.05 «Тепловые двигатели летательных аппаратов» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Воронцовский Андрей Владимирович. – Москва, 2000. – 22 с. – Место защиты: Московский государственный авиационный институт (технический университет).

Voronetsky, A.V. *Ekspperimentalnyye i teoreticheskiye issledovaniya dvukhfaznykh gazokapelnykh techeniy v soplakh i struyakh s vysokoy massovoy kontsentratsiyey zhidkosti v gaze : dissertatsiya na soiskanie uchyonoystepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Experimental and theoretical studies of two-phase gas-droplet flows in nozzles and jets with high mass concentration of liquid in gas : specialty 05.07.05 “Thermal, electric rocket engines and power plants of aircraft”: Candidate of Technical Sciences dissertation / Voronetsky Andrey Vladimirovich]. Moscow, 2000, 22 p. Place of thesis defence: Moscow State Aviation Institute (Technical University). (In Russian)

7. Чисхолм, Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках / Д. Чисхолм : пер. с англ. – Москва : Недра, 1986. – 204 с.

Chisholm, D. *Dvukhfaznyye techeniya v truboprovodakh i teploobmennikakh* [Two-phase flows in pipelines and heat exchangers]. Moscow : Nedra Publ., 1986, 204 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 07.08.2024
Дата опубликования 19.09.2024

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

METHODS OF THE THEORY OF TWO-PHASE FLOWS IN THE PROBLEM OF DETERMINING THE VELOCITIES OF GAS AND DROPLET FLOWS AT THE INPUT OF A GAS-DROPLET NOZZLE

Objective. Increasing the level of validity of the calculation of gas-dynamic parameters due to the analytical determination of the velocities of the gas and droplet phase flows at the entrance to the gas-droplet nozzle.

Methods. Analytical methods for calculating two-phase flows in a mixing chamber for gas and droplet flows.

Results. A sequence of calculation relationships for determining the flow velocities with sliding of the gas and droplet phases in the mixing chamber at the inlet of the gas-droplet nozzle is given; two variants of numerical calculations are performed.

Scientific novelty. For the first time, the analytical calculation of flow velocities with sliding of gas and droplet phases in the mixing chamber of a gas-droplet nozzle is reduced to the problem of determining the velocities of a two-phase flow in a pipeline. Numerical calculations are performed.

Practical value. The proposed sequence of expressions allows us to analytically substantiate and numerically determine the initial conditions at the entrance to the gas-droplet nozzle (gas and droplet velocities) for the differential equations of the gas-droplet flow motion, thereby increasing the accuracy and validity of mathematical calculations, and, consequently, the efficiency of the gas-droplet nozzle.

Keywords: *gas-droplet nozzle, gas phase, droplet phase, true gas velocity, true droplet velocity, two-phase flow, mixing chamber.*

For citation: Ageyev V. G., Pefitbay G. I., Galukhin N. A., Medgaus V. M. Methods of the theory of two-phase flows in the problem of determining the velocities of gas and droplet flows at the input of a gas-droplet nozzle // *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, № 3(61), pp. 82-92. EDN FJLCIZ.

УДК [614.8-051:159.944.3]:612.821

Владимир Владимирович Черкесов, профессор, д-р мед. наук, ст. науч. сотр.;
e-mail: cherkesov.vv@gmail.com;

Александр Викторович Петров, доцент, канд. техн. наук; e-mail: petroff77@list.ru

ФГКОУ ВО «Донецкий институт ГПС МЧС России»

283050, Донецк, ул. Розы Люксембург, 34а. Тел.: +7 (949) 331-29-68; +7 (949) 331-29-68

ВОЗМОЖНОСТИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ СПАСАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННОЙ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ (Информационно-аналитический анализ. Часть 1)

Цель. Повысить эффективность аварийно-спасательных работ пожарных-спасателей МЧС с использованием современной аварийно-спасательной техники и с позиции максимальной адаптации элементов системы «человек – машина».

Методы. Информационно-аналитический системный анализ.

Результаты. Обосновано перспективное направление профессиональной подготовки пожарных-спасателей МЧС при использовании новой пожарно-спасательной техники с учетом базовых принципов инжиниринга – взаимoadaptации элементов системы «человек – машина» и с обязательным учетом психосоматических ее компонентов.

Научная новизна. Внедрение принципа взаимного резервирования представляет собой новое теоретическое решение проблемы распределения функций между спасателем-оператором и пожарно-спасательной техникой, что дает возможность формировать гибкую стратегию изменения степени автоматизации в процессах управления сложной техникой.

Практическая ценность. Доказана перспективность и необходимость разработки специальных тренажеров новой пожарно-спасательной техники для формирования эффективных навыков у пожарных-спасателей по ее использованию при ведении аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Ключевые слова: *пожарные-спасатели; пожарно-спасательная техника; инжиниринг; психосоматическая адаптация; система «человек – машина».*

Для цитирования: *Черкесов В. В., Петров А. В. Возможности психофизиологической адаптации спасателей при использовании современной аварийно-спасательной техники (Информационно-аналитический анализ. Часть 1) // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 3(61). – С. 93–103. EDN FSVHUQ.*

Постановка проблемы. Проблема психофизиологической адаптации пожарных-спасателей к использованию современной аварийно-спасательной техники лежит в плоскости такого нового направления, как «инженерная психология».

Данное направление науки, как и все практические дисциплины, непрерывно меняет свою сферу интересов, подстраиваясь под запросы практики, и вследствие этого не имеет точного определения своей рабочей области. В настоящее время это научно-практический комплекс, связанный с изучением, проектированием и эксплуатацией технических систем, включающих человека [1].

Инженерная психология изучает системы «человек – техника» с целью достижения их высокой эффективности, основываясь на результатах исследований, разрабатывает психологические основы:

- конструирования техники и организации управления технологическим процессом;
- подбора специалистов, обладающих необходимым уровнем индивидуально-психологических профессионально важных качеств для работы с определенной техникой;
- профессиональной подготовки людей, использующих в своей трудовой деятельности сложные технические устройства.

Инженерная психология также изучает психологические закономерности трудовой деятельности человека в системах управления и контроля, его информационное взаимодействие с техническими устройствами этих систем.

Цель работы – повысить эффективность аварийно-спасательных работ пожарных-спасателей МЧС с использованием современной аварийно-спасательной техники и с позиции максимальной адаптации элементов системы «человек–машина».

Изложение основного материала. При выполнении работ по ликвидации крупных чрезвычайных ситуаций отмечены случаи несоответствия профессионально важных качеств пожарных-спасателей стоящим перед ними задачам [2, 3].

Важный фактор успешной профессиональной деятельности пожарных и спасателей – достаточный уровень развития профессиональных навыков и умений. В то же время принципиальное отличие навыков от умений состоит в том, что навык – это деятельность, доведенная до автоматизма постоянным механическим повторением этой деятельности. Умение – более сложный психологический конструкт, обеспечивающий профессиональную деятельность и эффективное выполнение работы в постоянно меняющихся условиях. Анализ особенностей профессиональной деятельности спасателей свидетельствует о том, что стрессоустойчивость специалиста определяется многими психологическими и психофизиологическими факторами, а также степенью их соответствия количественным и качественным характеристикам профессиональной активности. Основой может стать развиваемая в настоящее время теория функциональной эквивалентности.

К важным задачам разработки психологических основ для проектирования и создания новой пожарно-спасательной техники относится необходимость учитывать человеческий фактор, то есть совокупность тех свойств человека-оператора, которые влияют на эффективность системы «человек – машина».

Сложная система «человек – машина» характеризуется двумя главными отличительными признаками. Во-первых, в такой системе человек контролирует состояние управляемого объекта и воздействует на него при непосредственном контакте с орудием труда и дистанционно [4, 5].

Во-вторых, человек воспринимает информацию об объекте управления и влияющих факторах среды от средств отображения информации и воздействует на управляемый объект с помощью органов управления. Необходимо также учитывать психологические особенности труда спасателя при взаимодействии его с техническими средствами. Специалист, выполняющий функции управления в системе «человек – машина», определяется как оператор. В эргономике под человеком-оператором понимается человек, осуществляющий трудовую деятельность, основу которой составляет взаимодействие с объектом воздействия, машиной и средой на рабочем месте при использовании информационной модели и органов управления. «Информационная модель» реализуется в современной пожарно-спасательной технике в виде средств отображения информации – индикаторов, дисплеев, сигнализаторов, содержания виртуальной реальности и т.п. и должна обеспечить спасателю:

- понимание отображаемой информации;
- эффективное информационное взаимодействие его и технических устройств;
- максимальную надежность систем управления при ведении аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- возможность легко и свободно менять способы действия, гибкость поведения при изменении ситуации во время ликвидации чрезвычайных ситуаций и взаимозаменяемость спасателей;
- условия координации действий, если системой управляет не один человек, а коллектив.

Информационная модель – это организованное в соответствии с определенной системой правил отображение состояния предмета труда, технической системы, внешней среды и способов воздействия на них.

По ГОСТ 26.387–84 «Система «человек – машина». Термины и определения», информационная модель – это условное отображение, информация о состоянии объекта воздействия, системы «человек – машина» и способов управления ими.

Система «человек – машина» эффективна, когда оптимально сочетаются возможности машины и человека.

На человека возлагают выполнение функций по:

- распознаванию и анализу чрезвычайных ситуаций в целом по многочисленным, сложно связанным характеристикам, при неполной информации об объекте;
- осуществлению функций индуктивного вывода, то есть обобщению отдельных фактов в единую систему;
- решению задач, в которых отсутствует единый алгоритм или нет четко определенных правил обработки информации;
- решению задач, в которых требуется гибкость и приспособляемость к изменяющимся условиям, особенно задач, появление которых заранее трудно предвидеть;
- решению задач с высокой ответственностью в случае возникновения ошибки.

Машине (в нашем случае аварийно-спасательной технике) необходимо делегировать:

- исполнение всех видов заложенных типовых алгоритмов действий;
- выполнение однообразных, постоянно повторяющихся операций, реализуемых по заданному алгоритму;
- хранение и динамическое представление больших объемов однородной информации;
- выполнение действий, требующих высокой скорости реакции на команду спасателя.

Несмотря на значительный прогресс в создании сложных технических систем, человек во многих случаях незаменим.

Особенно это касается его возможностей по работе в условиях неполноты информации и использовании эвристических методов решения проблем. К тому же только человек обладает способностью учитывать разнокачественный, в том числе профессиональный, опыт для достижения поставленных задач.

Проведенный информационно-аналитический анализ различных подходов к проектированию, разработке и внедрению современной пожарно-спасательной техники позволяет прийти к выводу о перспективности такого подхода, как «умножение возможностей» [6]. Согласно ему задача эргономического проектирования – *расширение возможностей психологической и психофизиологической систем оператора*, обучение его новым навыкам для решения профессиональных задач. Подчеркнем, что речь идет не только о проектировании технических систем, включающих человека и учитывающих его свойства, но и о формировании его как специалиста. Такой специалист, в нашем случае – пожарный-спасатель, придает эргатической системе новые свойства, ведущие к успешному выполнению профессиональной деятельности.

В процессе создания новых технических решений системы «человек – машина» необходимо оценивать вклад каждой новой подсистемы в увеличение возможностей тех или иных систем человека. Речь идет об усилении его перцептивных возможностей: антиципации, памяти, внимания, принятия решения, мышления, включения в функциональные системы принятия решений на этапе проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Необходимо также учитывать возникновение синергетических компонентов, формирующихся вследствие появления новых технических и психологических паттернов в новой системе. Особое внимание уделяется формированию качественно новых способностей, которыми наделяется оператор-спасатель при внедрении современной пожарно-спасательной техники [6, 7].

На рисунке представлены базовые паттерны, определяющие эффективность работы оператора-спасателя с пожарной техникой. Знание свойств человека-оператора, его недостатков и преимуществ позволяет грамотно спроектировать систему управления пожарной техникой, сделать ее эффективной и надежной.

При этом важную роль играют формы представления знаний о психофизиологии человека [8, 9].



Рис. Факторы риска у пожарных-спасателей, способствующие возникновению чрезвычайной ситуации при использовании современной пожарно-спасательной техники

Развитие компьютерных технологий позволяет реализовать перспективные методологические схемы решения психологических проблем проектирования и внедрения новой пожарно-спасательной техники. Например, А. Н. Костин [4] предложил принцип взаимного резервирования оператора и автоматики, в соответствии с которым оператор резервирует автоматику (в случае возникновения отказов техники или непредвиденных ситуаций) путем самостоятельного снижения степени автоматизации; автоматика «резервирует» оператора (при возникновении в его деятельности ситуаций высокой субъективной сложности) путем принудительного повышения степени автоматизации процессов управления. При этом полуавтоматические режимы управления должны быть основными, а автоматические и ручные рассматриваться как резервные для страховки оператора и автоматики соответственно.

Психофизиологические аспекты системы «человек – машина».

При разработке новых технических объектов продолжает существовать тенденция к полной автоматизации, жесткому контролю действий операторов, что объективно приводит к вытеснению человека из процессов управления. К традиционно выделяемым психологическим проблемам, возникающим при автоматизации, относится пассивность и снижение ведущей роли операторов в управлении. При этом особенно остро встает проблема доверия оператора автоматике: операторы могут излишне полагаться на автоматику и не замечать возникших отклонений в ее работе или, наоборот, не доверять автоматике даже при ее нормальном функционировании и стремиться выполнять управление в ручном режиме.

Развитие автоматизации и возникающие при этом психологические проблемы делают актуальным поиск новых подходов к решению проблемы распределения функций между человеком и автоматикой. Доминирующий фактор, негативно влияющий на надежность современной сложной пожарной техники в непредвиденных ситуациях межсистемных взаимодействий, – потенциальная неадекватность количественных критериев и алгоритмов в программах автоматизации, с помощью которых разработчики формализуют свои представления о процессах управления, в том числе реализуемых оператором. Преодолеть указанную неадекватность разработчики новой пожарно-спасательной техники пытаются за счет резервирования (замены) автоматизации оператором, использующим преимущественно качественные критерии.

Однако в силу изначальной неизвестности непредвиденных ситуаций, возникающих при ликвидации чрезвычайных ситуаций, даже профессиональные спасатели могут принимать неправильные (неадекватные ситуации) решения, которые будут связаны с высокой субъективной сложностью деятельности. В этих случаях необходимо осуществление такой функции техники, как «резервирование» оператора автоматикой в ходе выполнения им профессиональных функций. Тем самым распределение функций между оператором и автоматикой должно строиться по процессуальной логике их взаимного резервирования.

Каждая наука, обладая специфическим языком, максимально эффективна в зоне своих базовых понятий и определений, но при этом она может быть совершенно непонятна представителям других областей знания. Вопрос междисциплинарной передачи знаний становится основным при участии в процессе проектирования и создания новой пожарно-спасательной техники специалистов разных профессий, что проявляется при создании сложных систем «человек – машина».

Именно специфичность человеческой психики, недоступной изучению методами естественных наук, которые составляют базис инженерного проектирования, создает барьер непонимания между психологами и инженерами. Психологи, оперируя понятными на бытовом уровне определениями (память, внимание, чувства, эмоции), включают в их содержание совершенно иные контексты, нежели инженеры, которые работают с предметным, измеримым миром физических моделей, алгоритмов и технологий. Это совсем другая форма профессионального опыта.

К сожалению, возникающие иллюзии понятности и доступности психологии ведут к попыткам принизить роль психологического фактора при проектировании новой пожарно-спасательной техники, преувеличенному значению измеряемых характеристик человеческого организма. Возникает инженерная интерпретация психологических знаний – состояние субъективное и даже опасное, так как напрямую приводит к неэффективным решениям, прежде всего на этапе проектирования техники, и междисциплинарным конфликтам.

Вместе с тем необходимо признать, что человек – сложная информационно управляющая функциональная система, и его можно в первом приближении рассматривать в качестве физической системы, обрабатывающей информацию. При этом допустимо расширение и трансляция психологического языка на создаваемые модели, интерпретация которых носит в значительной мере психофизиологический характер [7, 8].

Работа по созданию новой пожарно-спасательной техники начинается с получения и систематизации всей доступной информации по объекту проектирования, с тем чтобы определить принципы работы, закономерности, сложные и простые области использования (при тушении пожара). Полученную информацию исследуют, после чего строят модель объекта.

Затем эту модель структурируют, уточняют на соответствие базовым понятиям, правилам и условиям использования, а после постепенно разбивают на более конкретные блоки, иными словами, модель детализируют до тех пор, пока не будет достигнут минимально возможный неделимый (или его дальнейшая детализация теряет смысл) модуль или блок. После того, как приходит полное понимание, как работает вся система в целом, любые условия или задачи, решаемые этой системой, реализуются в рамках построенной модели.

Однако реализация данного алгоритма в инженеринге сталкивается с трудно преодолимыми препятствиями, а именно: ограниченными возможностями человека, прежде всего – психофизиологическими.

С упрощенной, инженерной точки зрения человек как приемник и передатчик информации – «устройство» несовершенное. Он обладает узким диапазоном восприятия информации об окружающем мире посредством биологических сенсорных систем, которые отличаются низкой пропускной способностью и легко исчерпываются при приеме и передаче информации. Моторные «выходы» человека обладают невысоким быстродействием. Его силовые возможности ограничены. Человек как многоуровневая вычислительная и аналитическая система, напротив, превосходит все существующие технические аналоги по возможностям параллельной обработки информации и способности решать задачи методом логической индукции.

Многие свойства психики человека еще долгое время не смогут быть реализованы в вычислительных и технических системах, прежде всего такие, как сознание и интеллект, несмотря на то, что работы в этом направлении ведутся не один год. Человек как управляющее «устройство» характеризуется очень высокими способностями к гибкой и относительно быстрой адаптации при решении сенсомоторных и других задач, не выходящих за ограничения его памяти, сенсорных и двигательных систем.

Главная цель инженерного психолога – сформировать точки контакта с представителями инженерных и точных наук. Естественно, что при таком подходе многие свойства человеческой психики могут быть упущены или находятся вне нашего понимания и внимания. Кроме того, при проектировании

систем «человек – машина» многие существенные с точки зрения психологии свойства человека не могут быть учтены в силу их метафоричности и количественно-качественной неопределенности.

В основе распределения функций спасателя-оператора должно лежать не сравнение возможностей человека и автоматики, а синтез двух типов критериев – количественных и качественных, используемых в процессах управления: первые – преимущественно разработчиками автоматизированных систем, вторые – операторами. В то же время принцип взаимного резервирования дополняет и развивает принцип активного оператора в части резервирования автоматики оператором.

Современный подход к созданию новой пожарно-спасательной техники базируется на принципе распределения функций – взаимного резервирования оператора и автоматики – и представляет новое решение проблемы надежности. Его применение позволяет осуществить своеобразную форму активной помощи или даже страховки оператора в сложных ситуациях при проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ. Одновременно обеспечивается определенная гарантия для разработчиков техники по предотвращению ошибок спасателей, которые возможны в ситуациях с высокой субъективной сложностью деятельности. Тем самым фактически реализуется обоюдная защита и оператора, и техники, а также может быть преодолено противопоставление человека и автоматики, а точнее, противодействие между операторами и разработчиками, основанное на их недоверии друг другу, когда разработчики опасаются ошибок операторов и стремятся полностью все автоматизировать, а операторы боятся неверных действий автоматики и настраиваются на ручное управление. Кроме того, указанный метод может быть использован для анализа и оценки операторской деятельности в реальных условиях и в процессе профессиональной подготовки спасателей на тренажерах.

Возможности проведения качественного содержательного анализа ситуаций оператором-спасателем определяются его профессиональным опытом, знаниями и умениями, способностями к творческому мышлению, психологической готовностью принятия ответственных решений в экстремальных условиях ликвидации ЧС. Но даже профессионалам высокого класса это иногда не удается [7]. Поэтому спасатель не всегда способен выполнить функцию по резервированию автоматики в изначально неизвестных и неопределенных ситуациях, нелинейных и неустойчивых процессах межсистемного взаимодействия. В этих условиях возможны ошибочные, несанкционированные действия, несоблюдение профессиональных норм и даже отказ от деятельности. Выходом из ситуации может быть реализация обратной функции – резервирования оператора автоматикой.

Чем сложнее для спасателя как оператора деятельность, тем в большей степени он закрывается от внешнего мира и погружается в свой внутренний. При этом, как оказалось, в движениях глаз человека исчезают скачки (саккады), с помощью которых взгляд перемещается с одной точки фиксации показателей

оборудования пожарно-спасательной техники на другую, – они становятся просто не нужны. Поэтому длительность интервалов между саккадами (которая меняется в достаточно больших пределах) в настоящее время используется как параметр субъективной сложности операторской деятельности. Продуктивность метода проверена экспериментально в лабораторных условиях и на тренажерах [5].

Взаимное резервирование как методологический подход позволяет реализовать своеобразную форму активной помощи спасателю или даже страховки его в критических ситуациях, а разработчики новой пожарно-спасательной техники будут в определенной мере гарантированы от операторских ошибок. Тем самым фактически реализуется обоюдная защита оператора и техники. Кроме того, оператор не будет чувствовать себя брошенным в одиночестве перед многообразной сложностью техники, а разработчики – устраненными из процесса управления.

Предлагаемую стратегию автоматизации можно считать единственно верной. Она необходима лишь в самых сложных случаях. Конкретную стратегию следует определять, исходя из объективных факторов сложности, относящихся к технике, управлению, функциям человека, и личностных, социальных, культурных, организационных, экономических и иных ограничений.

Выводы. Информационно-аналитический и системный анализ проблем, возникающих при внедрении современной пожарно-спасательной техники, позволяет прийти к выводу о необходимости внедрения принципа взаимного резервирования, который представляет собой новое теоретическое решение проблемы распределения функций между спасателем-оператором и пожарно-спасательной техникой, что дает возможность формировать гибкую стратегию изменения степени автоматизации в процессах управления сложной техникой.

Резервирование автоматике оператором происходит в случае возникновения отказов техники или непредвиденных ситуаций при аварийно-спасательных и других неотложных работах посредством снижения им степени автоматизации; обратное резервирование оператора автоматикой осуществляется при превышении предельно допустимой субъективной сложности деятельности путем принудительного повышения степени автоматизации процессов управления. Как следствие, полуавтоматические режимы в процессах управления должны быть основными, а автоматические и ручные – резервными, используемыми для страховки оператора и автоматике соответственно.

Список литературы / References

1. Климов, Е. А. Введение в психологию труда / Е. А. Климов. – Москва : Изд-во Московского университета : Академия, 2004. – 334, [2] с.

Klimov, E. A. *Vvedeniye v psikhologiyu truda* [Introduction to labor psychology]. Moscow : Publishing House of the Moscow University : Academy, 2004. 334, [2] p. (In Russian)

2. Осипов А. В. Профессионально важные качества сотрудников пожарно-спасательных формирований на разных этапах профессионального становления : автореферат диссертации на соискание степени кандидата психологических наук : 19.00.13 «Психология развития, акмеология» (психологические науки) / Артур Валентинович Осипов. – Ростов-на-Дону, 2009. – 25 с. – Место защиты : Южный федеральный университет.

Osipov A. V. *Professionalno vazhnyye kachestva sotrudnikov pozharno-spasatelnykh formirovaniy na raznykh etapakh professionalnogo stanovleniya* [Professionally important qualities of employees of fire and rescue formations at different stages of professional formation : 19.00.13 “Developmental psychology, acmeology” (psychological sciences) specialty : Candidate of psychological sciences dissertation / Artur Valentinovich Osipov]. Rostov-on-Don, 2009. 25 p. Place of thesis defence: Southern Federal University. (In Russian)

3. Портнова, А. Г. Психологические механизмы и стратегии совладания с кризисными ситуациями сотрудников в экстремальных видах профессиональной деятельности / А. Г. Портнова, А. Е. Холодцева // Вестник КемГУ. – 2010. – № 3(43). – С. 90–100.

Portnova, A. G. *Psikhologicheskiye mekhanizmy i strategii sovladaniya s krizisnymi situtsiyami sotrudnikov v ekstremalnykh vidakh professionalnoy deyatelnosti* [Psychological mechanisms and strategies for coping with crisis situations of employees in extreme types of professional activity]. *Vestnik KemGU*, 2010, no. 3(43), pp. 90-100. (In Russian)

4. Костин, А. Н. Изменение принципов распределения функций между человеком и автоматикой при возрастании сложности техники / А. Н. Костин // Психологический журнал. – 1992. – Т. 13, № 5. – С. 57–63.

Kostin, A. N. *Izmeneniye printsipov raspredeleniya funktsiy mezhdru chelovekom i avtomatikoy pri vozrastanii slozhnosti tekhniki* [Changing the principles of the distribution of functions between man and automation with increasing complexity of technology]. *Psikhologicheskiy journal*, 1992, vol. 13, no. 5, pp. 57-63. (In Russian)

5. Костин, А. Н. Метод таксономии межсаккадических интервалов движений глаз для оценки операторской деятельности / А. Н. Костин // Методики анализа и контроля трудовой деятельности и функциональных состояний. – Москва : Институт психологии РАН, 1992. – С. 14–20.

Kostin, A. N. *Metod taksonomii mezhsakkadicheskikh intervalov dvizheniy glaz dlya otsenki operatorskoy deyatelnosti* [The method of taxonomy of interaccadic intervals of eye movements for evaluating operator activity] // *Methods of analysis and control of labor activity and functional conditions*. Moscow : Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, 1992, pp. 14-20. (In Russian)

6. Пономаренко, В. А. Психология человека опасной профессии (концепция опасной профессии) / В. А. Пономаренко // Психологические основы профессиональной деятельности : хрестоматия / сост. В. А. Бодров. – Москва : ПЕР СЭ; Логос, 2007. – 855 с.

Ponomarenko, V. A. *Psikhologiya cheloveka opasnoy professii (kotsepsiya opasnoy professii)* [Psychology of a person of a dangerous profession (the concept of a dangerous profession)] // Psychological foundations of professional activity : a textbook / comp. V. A. Bodrov. Moscow : PER SE; Logos Publ., 2007. 855 p. (In Russian)

7. Маклаков, А. Г. Профессиональный психологический отбор персонала. Теория и практика / А. Г. Маклаков. – Санкт-Петербург : Питер, 2016. – 480 с.

Maklakov, A. G. *Professionalnyy psikhologicheskiy otbor personala. Teoriya i praktika* [Professional psychological selection of personnel. Theory and practice]. St. Petersburg : Peter Publ., 2016. 480 p. (In Russian)

8. Сергеев С. Ф. Обучающие и профессиональные иммерсивные среды / С. Ф. Сергеев. – Москва : Народное образование, 2009. – С. 340–347.

Sergeev S. F. *Obuchayushchiye i professionalnyye immersivnyye sredy* [Educational and professional immersive environments]. Moscow : Public Education Publ., 2009, pp. 340-347. (In Russian)

9. Clary, E. G., Snyder, M. et al. Understanding and assessing the motivations of volunteers: A functional approach // Journal of Personality and Social Psychology, 1998, no. 74, pp. 1516-1530. (In English)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 21.08.2024
Дата опубликования 19.09.2024

Vladimir Vladimirovich Cherkesov, Professor, Doctor of Medical Sciences, senior scientific researcher; e-mail: cherkesov.vv@gmail.com;

*Alexander Viktorovich Petrov, Associate Professor, Cand. Sci. (Tech.); e-mail: petroff77@list.ru
FGKOU VO "Donetsk Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia"
283050, Donetsk, ulitsa Rosa Luxemburg, 34a. Phone: +7 (949) 331-29-68; +7 (949) 331-29-68*

THE POSSIBILITIES OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL ADAPTATION OF RESCUERS USING MODERN TECHNOLOGY EMERGENCY RESCUE EQUIPMENT (Information and analytical analysis. Part 1)

Purpose. To increase the efficiency of emergency rescue operations of fire rescue workers of the Ministry of Emergency Situations using modern emergency rescue equipment and from the position of maximum adaptation of the elements of the "man-machine" system.

Methods. Information and analytical system analysis.

Results. The perspective direction of professional training of firefighters and rescuers of the Ministry of Emergency Situations is substantiated when using new fire and rescue equipment, taking into account the basic principles of engineering – the mutual adaptation of elements of the "man-machine" system and with mandatory consideration of its psychosomatic components.

Practical value. The prospects and the need to develop special simulators of new fire and rescue equipment for the formation of effective skills for firefighters and rescuers to use it in the conduct of ASDNR are proved.

Keywords: *firefighters-rescuers; fire-rescue equipment; engineering; psycho-somatic adaptation; "man-machine" system.*

For citation: Cherkesov V. V., Petrov A. V. The possibilities of psychophysiological adaptation of rescuers using modern technology emergency rescue equipment. (Information and analytical analysis. Part 1). *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, № 3(61), pp. 93-103. EDN FSVHUQ.

УДК 614.841.332:674.048

Владимир Алексеевич Канин, д-р техн. наук, вед. науч. сотр.; e-mail: vlkanin2@yandex.ru
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела»
283001, Донецк, ул. Челюскинцев, 291. Тел.: +7 (949) 368-06-21

Олег Владимирович Храпоненко, науч. сотр.; e-mail: olghrap@mail.ru;
Оксана Николаевна Щербакова, вед. инж.; e-mail: astra-jasmin@mail.ru
Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-55

ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ ПРОПИТКИ ДЛЯ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Цель. Оптимизация свойств пропиточного состава для древесины по его огнезащитным свойствам при выборе наиболее рациональной рецептуры пропитки.

Методы. Стандартный метод определения потери массы образцами после огневых испытаний, трехфакторный симплекс-решетчатый метод планирования эксперимента, графический метод представления результатов в виде треугольной диаграммы «состав – свойство».

Результаты. Выполнена оптимизация свойств пропиточного состава, установлены рациональные соотношения компонентов антипиреновой группы, определяющие высокие огнезащитные показатели пропиточного состава для древесины. Получена адекватная регрессионная модель процесса изменения потери массы экспериментальных образцов от массового содержания антипиреновой системы: гидрохинон – оксиэтилендифосфоновая кислота – смесь диаммонийфосфата, моноаммонийфосфата и карбамида в рецептуре пропиточного состава. Построена треугольная диаграмма «состав – потеря массы».

Научная новизна. Разработана новая рецептура огнезащитной пропитки для поверхностной обработки древесины. Получено аналитическое выражение приведенного полинома неполного третьего порядка для зависимости потери массы от компонентного состава пропитки.

Практическая значимость. Экспериментальные исследования позволили установить рациональное массовое содержание и соотношение целевых добавок в рецептуре огнезащитной пропитки. Обработка древесины разработанной огнезащитной пропиткой предотвратит возгорание и распространение пламени по поверхности элементов строительных конструкций из древесины и материалов на ее основе и снизит риск быстрого обрушения зданий и сооружений в условиях пожара.

Ключевые слова: антипиреновая система; группа огнезащитной эффективности; огнезащита древесины; полином неполного третьего порядка; потеря массы; пожарная безопасность.

Для цитирования: Канин В. А., Храпоненко О. В., Щербакова О. Н. Оптимизация свойств пропитки для огнезащитной обработки древесины // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 3(61). – С. 104–111. EDN FYZYIY.

Постановка проблемы. Разработка средств и способов для предотвращения возникновения, развития и ликвидации пожара – одна из приоритетных задач МЧС России. Пожарная опасность объектов гражданского и промышленного строительства определяется количеством и свойствами материалов зданий и сооружений, а также огнестойкостью деревянных и металлических конструкций. К одному из эффективных способов повышения огнестойкости

деревянных конструкций при пожаре относят использование огнезащитных пропиток, которые представляют собой многокомпонентные водные растворы антипиренов различного химического состава. Создание новых рецептур пропиток и изучение их огнезащитных свойств экспериментальными методами представляет собой серьезную научную задачу из-за трудоемкости и длительности проведения многочисленных экспериментов, а также сложности получения полной информации, отражающей поведение экспериментальных образцов под воздействием тепловой нагрузки. При решении этой задачи необходимо использовать математические методы моделирования для получения требуемых максимально точных параметров многокомпонентного огнезащитного пропиточного состава.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время большая часть научных трудов посвящена совершенствованию рецептур существующих и созданию на эмпирической основе новых пропиточных составов для различных технологических задач [1–3]. Результаты таких работ представляют определенный интерес, но не менее перспективным направлением можно считать исследования по оптимизации свойств многокомпонентных огнезащитных пропиток и изучению их свойств на основе моделирования их компонентного состава.

Цель работы – оптимизация свойств пропиточного состава для древесины по его огнезащитным свойствам при выборе наиболее рациональной рецептуры пропитки.

Методика проведения эксперимента. Объект исследования – пропиточный состав, рецептура которого основана на результатах исследований, показавших наибольшую эффективность смеси антипиренов – диаммонийфосфата (ДАФ), моноаммонийфосфата (МАФ), карбамида, гидрохинона (ГХ) и оксиэтилендифосфоновой кислоты (ОЭДФК) с точки зрения огнезащиты древесины [4, 5].

К главной характеристике, определяющей огнезащитные свойства пропитки, относят группу огнезащитной эффективности. Оценочным количественным критерием ее служит потеря массы образцов после огневого воздействия. Исходя из этого, параметром оптимизации в настоящем исследовании принята потеря массы экспериментальных образцов после огневых испытаний.

Определение потери массы образцов после воздействия пламени газовой горелки провели на установке «Керамическая труба» методом, регламентированным ГОСТ Р 53292–2009 «Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний», где оговорены условия испытаний, применяемая аппаратура, размеры и подготовка экспериментальных образцов к испытаниям.

Значение Δm_{ij} , %, усредненное по двум параллельным испытаниям экспериментальных образцов, рассчитывали по формуле

$$\overline{\Delta m_{ij}} = \frac{\sum_{i=1, j=1}^{n=2} (\Delta m_{1i} - \Delta m_{2i})}{n} \cdot 100, \quad (1)$$

где m_{1i} – масса образца до огневого воздействия для i -го испытания, г;
 m_{2i} – масса образца после огневого воздействия для i -го испытания, г;
 i – порядковый номер испытания;
 j – порядковый номер параллельного испытания;
 n – число параллельных испытаний.

Исследуемый пропиточный состав представляет собой многокомпонентную смесь систему, поэтому оценивали огнезащитную эффективность и оптимизацию его свойств с применением симплекс-решетчатого плана неполного третьего порядка.

Результаты исследований. Цель эксперимента заключалась в определении такого рационального соотношения компонентов антипиреновой группы в рецептуре пропиточного состава, которая позволила бы получить минимальное значение потери массы, обеспечивающее гарантированную защищенность древесины от воздействия пламени. Входными переменными выбраны массовые соотношения компонентов антипиреновой группы – ГХ (Z_1), ОЭДФК (Z_2) и смеси, содержащей ДАФ, МАФ, карбамид (Z_3) при постоянном содержании антисептика и смачивателя (поверхностно-активное вещество) в рецептурном составе пропитки. В качестве выходной переменной взято Δm образцов после огневых испытаний, значение которого рассчитывали по формуле (1). В статье исследована не вся область треугольной диаграммы «состав – свойство», а лишь ее часть в виде треугольника с координатами:

- X_1 (10, 0, 0) – для ГХ, масс. %;
- X_2 (10, 20, 10) – для ОЭДФК, масс. %;
- X_3 (80, 80, 90) – для смеси с ДАФ, МАФ, карбамид, масс. %.

Вершины треугольника приняты как самостоятельные псевдокоординаты Z_i , удовлетворяющие условиям

$$0 \leq Z_i \leq 1 \quad (i = 1, 2, 3)$$

$$\sum_{i=1}^3 Z_i = 1.$$

Для описания поверхности отклика полиномом неполного третьего порядка составлен симплекс-решетчатый план типа $\{3, 3^*\}$ относительно новых переменных Z_i . Трансформирующая зависимость между координатными системами (X_1, X_2, X_3) и (Z_1, Z_2, Z_3) , обеспечивающими условие $\sum_{i=1}^3 Z_i = 1$, задана матричным уравнением

$$X = B Z, \quad (2)$$

где X – новая координата симплекса;

B – координата вершины симплекса;

Z – исходная координата симплекса.

Уравнение (2) в развернутом виде записываем следующим образом:

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 10 & 20 & 10 \\ 80 & 80 & 90 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix}.$$

Матрица планирования неполного третьего порядка в координатах симплекса и состав антипиреновой группы в реальных переменных в этих же точках плана представлены в таблице.

Таблица

Матрица планирования и результаты эксперимента

Точка плана	Матрица плана в кодированных координатах, масс. доля			Матрица плана в натуральных координатах, масс. %			Выходной фактор
	Z_1	Z_2	Z_3	X_1	X_2	X_3	$\overline{\Delta m_{ij}}$
1	1,000	0,000	0,000	10,00	10,00	80,00	9,48
2	0,000	1,000	0,000	0,00	20,00	80,00	4,55
3	0,000	0,000	1,000	0,00	10,00	90,00	8,76
4	0,500	0,000	0,500	5,00	10,00	85,00	7,37
5	0,500	0,500	0,000	5,00	15,00	80,00	5,64
6	0,000	0,500	0,500	0,00	15,00	85,00	5,62
7	0,333	0,333	0,333	3,33	13,32	83,25	6,76
8	0,200	0,500	0,300	2,00	15,00	83,00	5,28
9	0,000	0,900	0,100	0,00	19,00	81,00	5,13

Расход на пропитку образцов древесины для всех точек плана эксперимента составил 440 г/м². Из результатов исследования видно (см. табл.), что для значений $\overline{\Delta m}$ испытанных экспериментальных образцов (кроме состава 1) выполняется неравенство $\Delta m < 9\%$, что соответствует I группе огнезащитной эффективности пропитки. Следовательно, область факторного пространства при выполнении оптимизации выбрана рационально.

Эмпирическая зависимость «состав – свойство» интерполирована 7-параметрическим приведенным полиномом неполного третьего порядка [6]

$$\overline{\Delta m} = \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2 + \beta_3 Z_3 + \beta_{12} Z_1 Z_2 + \beta_{13} Z_1 Z_3 + \beta_{23} Z_2 Z_3 + \beta_{123} Z_1 Z_2 Z_3, \quad (3)$$

где $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – коэффициенты уравнения полинома;

Z_1, Z_2, Z_3 – содержание компонента в смеси сухих веществ, масс. доля.

Коэффициенты уравнения приведенного полинома (3) отображают зависимость $\overline{\Delta m}$ от соотношения компонентов (Z_i) антипиреновой системы и рассчитаны по результатам экспериментальных исследований с помощью выражений [6]

$$\begin{aligned}\beta_1 &= \Delta m_1, \\ \beta_2 &= \Delta m_2, \\ \beta_3 &= \Delta m_3, \\ \beta_{12} &= 4\Delta m_{12} - 2\Delta m_1 - 2\Delta m_2, \\ \beta_{13} &= 4\Delta m_{13} - 2\Delta m_1 - 2\Delta m_3, \\ \beta_{23} &= 4\Delta m_{23} - 2\Delta m_2 - 2\Delta m_3, \\ \beta_{123} &= 27\Delta m_{123} - 12(\Delta m_{12} + \Delta m_{13} + \Delta m_{23}) + 3(\Delta m_1 + \Delta m_2 + \Delta m_3).\end{aligned}$$

После подстановки вычисленных коэффициентов в уравнение приведенного полинома (3) получена регрессионная модель (4) изменения Δm от компонентного состава антипиреновой группы из рецептуры огнезащитной пропитки

$$\begin{aligned}\overline{\Delta m} &= 9,48Z_1 + 4,55Z_2 + 8,76Z_3 - 5,55Z_1 Z_2 - 7,00Z_1 Z_3 - 4,14Z_2 Z_3 + \\ &+ 27,33Z_1 Z_2 Z_3.\end{aligned}\quad (4)$$

В настоящем исследовании решение задачи направлено на убывание параметра оптимизации. Поэтому из модели (4) следует, что с точки зрения получения пропиточного состава с минимальным значением Δm для обработанных образцов древесины после огневых испытаний наиболее эффективно введение в рецептурный состав пропитки ОЭДФК (значение параметра при первой Z_2 и второй степени $Z_2 Z_3$ минимально).

После подтверждения гипотезы об однородности дисперсий параметра оптимизации по критерию Кохрена (C -критерий) выполнена оценка значимости коэффициентов модели (4) с применением критерия Стьюдента (t -критерий) с соблюдением условия неравенства

$$|\beta_i| \geq t_T S(\beta_i), \quad (5)$$

где $|\beta_i|$ – модуль значения коэффициента полинома;

t_T – табличное значение критерия Стьюдента;

$S(\beta_i)$ – квадратическая ошибка коэффициента полинома.

Для числа степеней свободы $f = 7$ и доверительной вероятности $P = 0,95$ произведение $t_T S(\beta_i)$ составило 2,45. Абсолютные значения всех коэффициентов

модели (4) удовлетворяют неравенству (5), что подтверждает их значимость в модели.

Проверка и оценка адекватности регрессионной модели (4) произведена в двух дополнительных проверочных точках 8 и 9 (см. табл.) по критерию Стьюдента путем сравнения его расчетного значения t_p с табличным $t_{\text{табл}}$. Для модели (4) $t_p = 0,68$. При уровне значимости $p = 0,05$ и числе степеней свободы $f = N - 1 = 6$ $t_{\text{табл}} = 2,23$. Так как для всех дополнительных проверочных точек соблюдается неравенство $t_p \leq t_{\text{табл}}$, гипотеза о неадекватности модели (4) отвергается. Таким образом, полученная адекватная модель позволяет достоверно рассчитать потерю массы для любой точки изученного факторного пространства.

Для наиболее наглядного изображения системы из трех компонентов применена треугольная диаграмма. В результате математической и графической обработки данных с применением универсальной интегрированной программы статистического анализа STATISTICA 10.0 построена треугольная диаграмма «состав – потеря массы» (рис.).

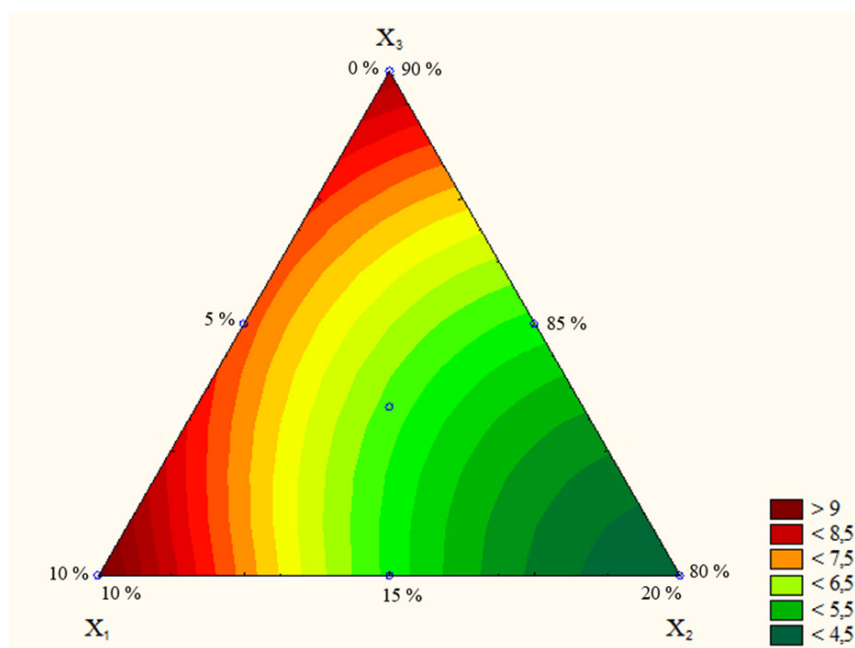


Рис. Треугольная диаграмма «состав – потеря массы»

Диаграмма наглядно показывает области рецептур огнезащитного пропиточного состава, которые соответствуют значениям потери массы в диапазоне 4,5...9 %. Наиболее низкие значения потери массы ($\Delta m < 4,5$ %) соответствуют области пропиточных составов, содержащих ОЭДФК с массовой концентрацией примерно 20 %.

Вывод. Оптимизация свойств огнезащитной пропитки позволила установить массовое содержание компонентов антипиреновой группы: гидрохинона – 0,7 масс. %, оксиэтилендифосфоновой кислоты – 4,5 масс. % и смеси, состоящей из диаммонийфосфата, моноаммонийфосфата и карбамида –

31,4 масс. %, определяющих наиболее эффективные огнезащитные свойства ($\Delta m < 6,5$ %) пропитки. Установленные соотношения антипиренов в рецептуре пропиточного состава позволяют оказать существенное влияние на огнестойкость конструкций из древесины при опасных факторах пожара, обеспечивая аварийно-спасательному формированию дополнительный запас времени для осуществления эвакуации людей и устранения очага горения.

Список литературы / References

1. Мнускина, Ю. В. Средства огнезащиты древесины / Ю. В. Мнускина, А. Р. Руденский // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2021. – № 2(9). – С. 258–263.

Mnuskina, Yu. V., Rudensky A. R. *Sredstva ogneshchity drevesiny* [Means of fire protection of wood]. *Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement*, 2021, № 2(9), pp. 258-263. (In Russian)

2. Гайнцева, А. А. Защита деревянных конструкций от огня: пропитка и огнезащитные составы / А. А. Гайнцева, С. Г. Аксенов, И. Э. Лукьянова // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2022. Vol. 11. No. 2(74). Pp. 88-90.

Gaintseva, A. A., Aksenov, S. G., Lukyanova, I. E. *Zashchita derevyannykh konstruksiy ot ognya: propitka i ogneshchitnyye sostavy* [Protection of wooden structures from fire: impregnation and flame retardants]. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2022, vol. 11, no. 2(74), pp. 88-90. (In Russian)

3. Газизов, А. М. Повышение огнезащитных свойств древесины при помощи пропитки антипиреном / А. М. Газизов, А. М. Хазипов, А. В. Мяслицин // Нефтегазовое дело. – 2022. – № 6. – С. 7–19.

Gazizov, A. M., Khazipov, A. M., Myalitsin, A. V. *Povysheniye ogneshchitnyykh svoystv drevesiny pri pomoshchi propitki antipirenom* [Increasing the flame retardant properties of wood by means of flame retardant impregnation]. *Oil and gas business*, 2022, no. 6, pp. 7-19. (In Russian)

4. 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 sulfatsoderzhashchih soyedineniy na snizheniye goruchesti drevesiny* [Experimental assessment of the effect of sulfate-containing compounds on reducing the combustibility of wood]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 1(61), pp. 96-105. (In Russian)

5. Лебедева, В. В. Оценка влияния влажности на огнезащитные свойства пропитки для древесины / В. В. Лебедева, О. В. Храпоненко // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 2(61). – С. 120–128.

Lebedeva, V. V., Khraponenko, O. V. *Otsenka vliyaniya vlazhnosti na ogneshchitnyye svoystva drevesiny* [Assessment of the influence of humidity

on the flame retardant properties of impregnation for wood]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 2(61), pp. 120-128. (In Russian)

6. Бондарь, А. Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры) / А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха, И. А. Потяженко. – Киев : Вища школа, 1980. – 264 с.

Bondar, A. G., Statyukha, G. A., Potyazhenko, I. A. *Planirovaniye eksperimenta pri optimizatsii protsessov khimicheskoy tekhnologii (algoritmy i primery)* [Experiment planning for optimization of chemical technology processes (algorithms and examples)]. – Kiyev : Vyshcha shkola Publ., 1980. – 264 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 26.08.2024
Дата опубликования 19.09.2024

Vladimir Alekseyevich Kanin, Dr. Sci. (Tech.), leading Scientific associate; e-mail: vlkanin2@yandex.ru
Federal State Budget Scientific Institution "Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying"

83001, Donetsk, ulitsa Chelyuskintsev, 291. Phone: +7 (949) 368-06-21

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

Oksana Nikolaevna Shcherbakova, leader engineer; e-mail: astra-jasmin@mail.ru

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

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

OPTIMIZATION OF THE FLAME RETARDANT PROPERTIES OF THE IMPREGNATION FOR WOOD

Objective. Optimization of the properties of the impregnation composition for wood according to its flame retardant properties to select the most rational impregnation formulation.

Methods. A standard method for determining the mass loss of samples after fire tests, a three-factor simplex-lattice method for planning an experiment, a graphical method for presenting the results in the form of a triangular composition-property diagram.

Results. Optimization of the properties of the impregnation composition has been performed, as a result of which rational ratios of the components of the flame retardant group have been established, which determine the high flame retardant properties of the impregnation composition for wood. An adequate model of the process of changing the mass loss of experimental samples from the mass content in the formulation of the impregnation composition of the flame retardant system: hydroquinone – hydroxyethylenediphosphonic acid – a mixture of diammonium phosphate, monoammonium phosphate and carbamide. A triangular diagram "composition-mass loss" is constructed.

Scientific novelty. A new formulation of flame retardant impregnation for surface treatment of wood has been developed. An analytical expression of the reduced polynomial of the incomplete third order is obtained, which establishes the dependence of mass loss on the component composition of the impregnation.

Practical value. Experimental studies have made it possible to establish a rational mass content and ratio of target additives in the formulation of flame retardant impregnation. The treatment of wood with the developed flame retardant impregnation will prevent ignition and spread of flame over the surface of elements of building structures made of wood and materials based on it and reduce the risk of rapid collapse of buildings and structures in fire conditions.

Keywords: *flame retardant system; flame retardant efficiency group; fire protection of wood; incomplete third-order polynomial; mass loss; fire safety.*

For citation. Kanin V. A., Khraponenko O. V., Shcherbakova, O. N. Optimization of the flame retardant properties of the impregnation for wood. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, vol. 3(61), pp. 104-111. EDN FYZYIY.

УДК 614.8.086

Александр Викторович Кузьмин, канд. техн. наук, доцент; e-mail: avkuzmin16@gmail.com
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева – КАИ»

420111, г. Казань, ул. Толстого, 15. Тел.: +7 (909) 311-57-22

Аделя Ринатовна Исаева, гл. спец.; e-mail: isaevaar17@mail.ru

Главное управление МЧС России по Республике Татарстан

420088, г. Казань, улица Академика Губкина, д. 50. Тел.: +7 (965) 590-79-77

Роман Николаевич Зинкевич, ст. пожарный-спасатель; e-mail: 60psch.7pso@mail.ru

60-я пожарно-спасательная часть 7-го пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного
управления МЧС России по Республике Татарстан

420076, г. Казань, улица Лесопарковый переулок, д. 19. Тел.: +7 (8432) 23-93-41

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПАСПОРТА БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ

Цель. Совершенствование механизмов обеспечения безопасности жизнедеятельности населения на основе прогнозирования быстроразвивающихся опасных природных процессов для всестороннего анализа возможных последствий чрезвычайных ситуаций.

Методы. Применен комплексный метод исследования, включающий анализ литературных источников, проведение теоретических исследований с использованием математических расчетов.

Результаты. Методика оценки рисков, предложенная в работе, представляет собой комбинацию существующих методов и современных технологий, что позволяет провести детальный анализ возможных последствий чрезвычайных ситуаций природного характера для конкретных территорий с учетом их географических, экономических и социальных особенностей.

Научная новизна. Систематизация и ранжирование опасных природных процессов с последующей оценкой риска природных чрезвычайных ситуаций.

Практическая значимость. Результаты приведенной методики могут быть взяты за основу при формировании нормативных правовых документов в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на региональном и муниципальном уровнях, в том числе в паспорте безопасности территории.

Ключевые слова: *целеполагание; чрезвычайные ситуации; оценка риска; комплексная безопасность; МЧС России.*

Для цитирования: Кузьмин А. В., Исаева А. Р., Зинкевич Р. Н. Методика оценки рисков природного характера при формировании паспорта безопасности территории // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 3(61). – С. 112–120. EDN DGNVKA.

Постановка проблемы. Мероприятия по обеспечению комплексной безопасности в субъекте государственной политики на территории Российской Федерации определяются и принимаются к исполнению на основе соответствующих целевых программ, паспортов безопасности, планов действий и иных подобных документов, которые включают в себя их ресурсное обеспечение и значения показателей эффективности принимаемых мер (Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»). ГОСТ Р 22.2.03–2022 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» и приказом

МЧС России от 25 октября 2004 г. № 484 «Об утверждении типового паспорта безопасности территорий субъектов Российской Федерации и муниципальных образований» предусмотрено обязательное проведение расчетов показателей исследуемых видов риска, однако соответствующие методики в нем не определены, но заложена норма «об описании применяемых методов оценки риска и обосновании их применения».

Математический аппарат анализа всех видов риска в указанных документах базируется на теории вероятностей и для оценки риска, например индивидуального, рекомендуется представлять указанный показатель в виде значений вероятности гибели человека и ожидаемого количества погибших из числа выбранной группы лиц в течение определенного времени по формуле

$$R = \frac{n}{N},$$

где n – число пострадавших,

N – число лиц подверженных риску.

Таким образом, для определения уровня риска следует учитывать природу несчастного случая и факторы, способствующие смягчению или усилению поражающего воздействия. Очевидно, что вероятностный подход, установленный нормативными требованиями, в этом случае трудноприменим и необходимы иные методы и инструменты.

Анализ последних исследований и публикаций. Законодательство Российской Федерации, регулирующее отношения в области защиты населения и территорий от угроз природного и техногенного характера, состоит из большого числа законов, подзаконных актов и нормативно-методических документов. Важно отметить, что система правового регулирования требует дальнейшего совершенствования в области прогнозирования и оценки риска природных чрезвычайных ситуаций.

Цель разработки типовых паспортов безопасности территорий субъектов РФ, муниципальных образований и потенциально опасных технических объектов – оценка рисков вероятных чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) и возможного ущерба. Однако представленная методология по большей части применяется для оценки риска техногенных чрезвычайных ситуаций, которые довольно подробно разобраны в паспортах безопасности. Природные чрезвычайные ситуации рассмотрены лишь в общем ключе.

Цель исследования – совершенствование механизмов обеспечения безопасности жизнедеятельности населения на основе прогнозирования быстроразвивающихся опасных природных процессов для всестороннего анализа возможных последствий чрезвычайных ситуаций.

Результаты исследования. Анализ риска включает идентификацию опасности и непосредственную оценку риска. Оценка риска основана на анализе причинно-следственных связей возникновения и условий развития

аварий (катастроф), включает определение частот, инициирующих и всех нежелательных событий и анализ последствий возможных воздействий факторов опасности на людей, имущество и окружающую природную среду. Функциональная схема оценки риска приведена на рисунке 1.

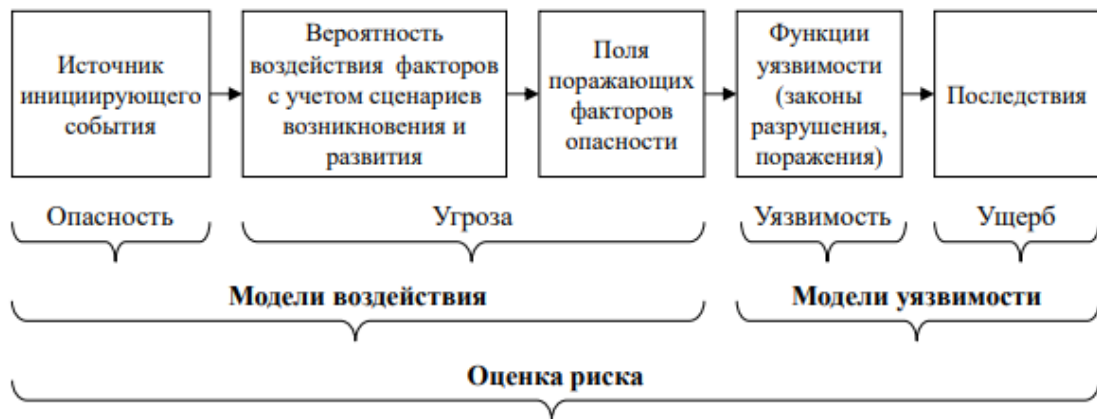


Рис. 1. Функциональная схема оценки рисков

Процесс анализа риска имеет общий порядок и включает следующие основные этапы:

- 1) выявление и анализ опасностей ЧС;
- 2) оценка риска ЧС;
- 3) определение достаточности существующей базы превентивных мероприятий, разработка рекомендаций и мер по предупреждению, локализации и ликвидации ЧС.

Этап оценки риска природной чрезвычайной ситуации заключается в определении вероятности ее возникновения. Для визуализации процесса исследования причинно-следственных связей предлагается использование диаграммы Исикавы (рис. 2).

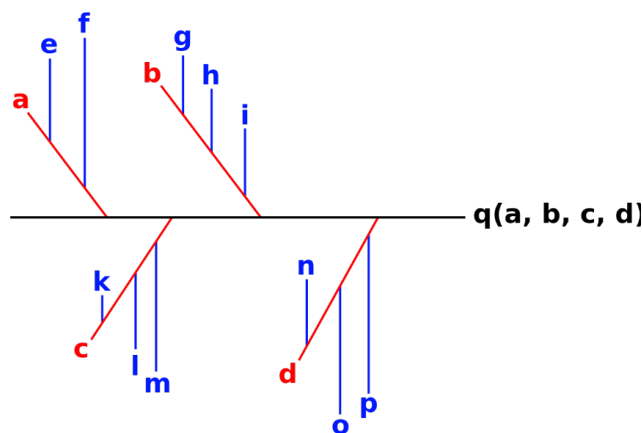


Рис. 2. Графический способ исследования и определения наиболее существенных причинно-следственных связей между факторами и последствиями чрезвычайной ситуации

Оценка последствий ЧС включает определение масштабов возможного причинения вреда жизни или здоровью людей, животных, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде [3] согласно Методике комплексной оценки индивидуального риска.

Индивидуальный риск Rei , определяемый как вероятность смертельного исхода или потери здоровья населения за год при стихийном бедствии или в процессе аварии, рассчитывают по формуле

$$Rei = H P,$$

где Rei – индивидуальный риск при i -й чрезвычайной ситуации, год⁻¹;

H – частота чрезвычайных ситуаций за год, ед.;

P – вероятность наступления неблагоприятного события при условии, что случилась чрезвычайная ситуация.

Интервалы изменения значений индивидуального риска для населения представлены в таблице.

Таблица

Интервалы изменения значений индивидуального риска для населения

Границы интервала	Качественное определение интервала
$0 \dots 0,25 \cdot 10^{-5}$	пренебрежительно малый
$0,25 \cdot 10^{-5} \dots 0,5 \cdot 10^{-5}$	малый
$0,5 \cdot 10^{-5} \dots 1,0 \cdot 10^{-5}$	незначительный
$1,0 \cdot 10^{-5} \dots 5,0 \cdot 10^{-5}$	умеренный
$5,0 \cdot 10^{-5} \dots 10,0 \cdot 10^{-5}$	средний
$10,0 \cdot 10^{-5} \dots 20,0 \cdot 10^{-5}$	высокий
$20,0 \cdot 10^{-5} \dots 100,0 \cdot 10^{-5}$	весьма высокий
более $100,0 \cdot 10^{-5}$	недопустимо высокий

Для описания воздействия ЧС на область или объекты обычно используют аналитические, графические и табличные зависимости, которые позволяют определить интенсивность поражающих факторов в конкретной точке рассматриваемой территории.

Функция распределения $F(x, y, \Phi)$ случайной величины (рис. 3), характерной для рассматриваемой ЧС, есть вероятность того, что случайная величина Φ в точке с координатами x, y примет значение не выше заданной величины Φ_3 . Данное суждение описано следующей формулой:

$$F(x, y, \Phi) = P(\Phi \leq \Phi_3).$$

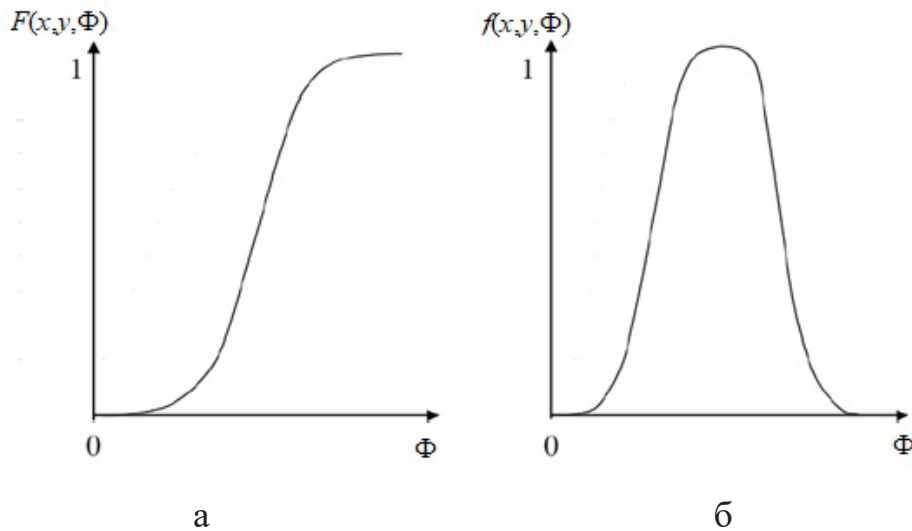


Рис. 3. Законы распределения поражающих факторов:
 а – функция распределения $F(x, y, \Phi)$; б – функция плотности распределения вероятностей $f(x, y, \Phi)$; x, y – координаты рассматриваемой точки; Φ – поражающий фактор (случайная величина)

Под законом поражения людей (рис. 4) будем понимать зависимость вероятности поражения людей от интенсивности поражающего фактора.

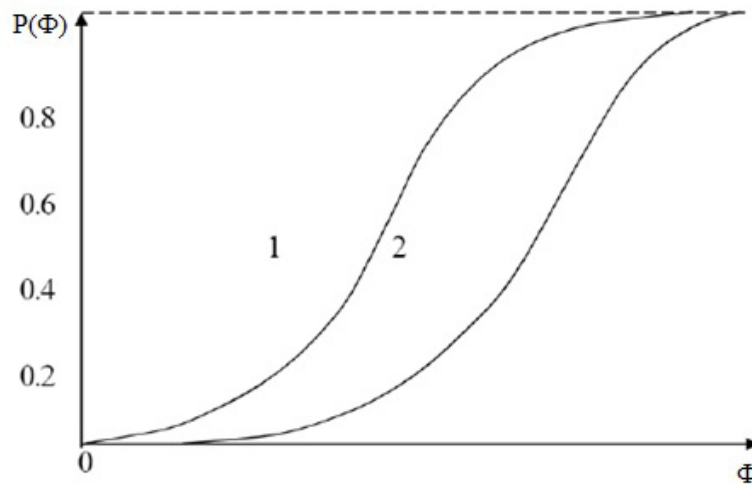


Рис. 4. Общий вид законов поражения населения:
 1 – общие потери; 2 – безвозвратные потери

Вероятность поражения населения в пределах рассматриваемой площадки с учетом возможности воздействия поражающего фактора различной интенсивности будут вычислять по формуле

$$P(x, y) = \int_{\Phi_{\min}}^{\Phi_{\max}} P(\Phi) \cdot f(x, y, \Phi) d\Phi,$$

где Φ_{\max} – максимально возможное значение поражающего фактора для рассматриваемой ЧС;

Φ_{\min} – минимально возможное значение поражающего фактора для рассматриваемой ЧС;

$P(\Phi)$ – параметрический закон поражения людей;

$F(x, y, \Phi)$ – функции плотности распределения интенсивности поражающего фактора, в пределах площадки с координатами (x, y) .

Математическое ожидание потерь людей в пределах всего города определяют по формуле

$$M(N) = \iint_S \int_{\Phi_{\min}}^{\Phi_{\max}} P(\Phi) f(x, y, \Phi) w(x, y) d\Phi dx dy,$$

где S – рассматриваемая площадь;

$w(x, y)$ – плотность населения в пределах рассматриваемой площади (принимается в качестве исходных данных).

Вероятность наступления неблагоприятного события P при условии, что случилась чрезвычайная ситуация, может быть определена с использованием математического ожидания ущерба населению

$$P = \frac{M(N)}{N},$$

где $M(N)$ – математическое ожидание потерь населения;

N – общая численность населения.

Расчеты негативных факторов воздействия источников ЧС на человека и среду обитания предлагается осуществлять в соответствии с методиками согласно [4].

Для проведения расчетов последствий природных чрезвычайных ситуаций предлагается использовать инструменты ведомственной информационной системы МЧС России «Атлас опасностей и рисков». Определение зоны затопления на основе расчетного подъема уровня воды представлено на рисунке 5.

Единой межведомственной методикой оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций при обосновании мероприятий по предупреждению аварий, катастроф и смягчению их последствий за риск принимается интегральный показатель. Этот интегральный показатель позволяет оценить не только вероятность возникновения чрезвычайной ситуации, но и потенциальный ущерб от нее.

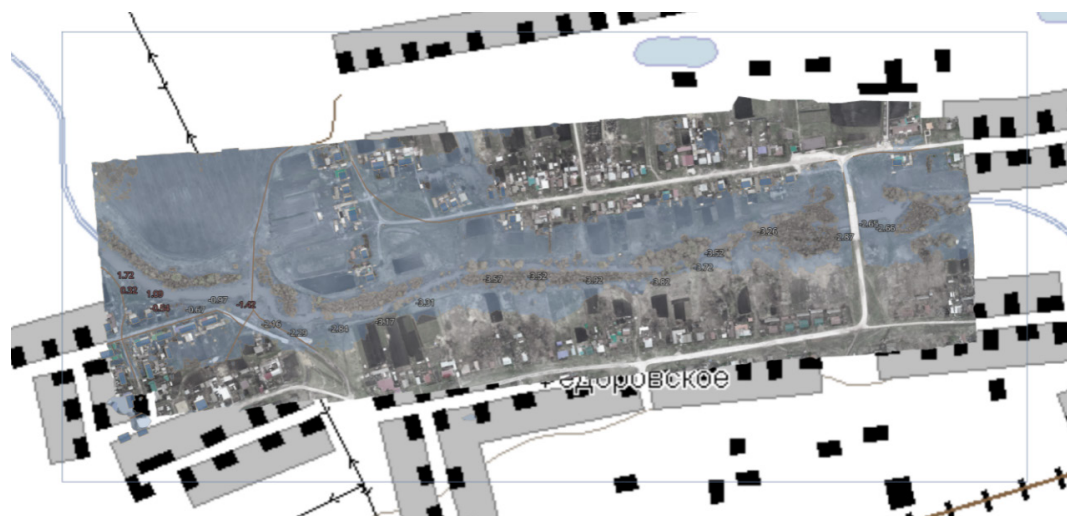


Рис. 5. Подъем уровня воды в реке Бирля до опасной отметки

Риск R (ущерб/год, размерность риска согласуется с характером ущерба) представлен в виде математического ожидания ущерба определенного рода за год и определяется по формуле

$$R = p g,$$

где p – вероятность наступления чрезвычайной ситуации (частота аварий, катастроф) за год;

g – потенциальный ущерб от чрезвычайной ситуации.

Размер потенциального ущерба определяют согласно приказу МЧС России от 01.09.2020 № 631 «Об утверждении Методики оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций».

Выводы. Методика оценки рисков, предложенная в работе, представляет собой комбинацию существующих методов и современных технологий. Данный подход позволяет провести детальный анализ и прогноз возможных последствий чрезвычайных ситуаций природного характера для конкретных территорий с учетом их географических, экономических и социальных особенностей.

Список литературы / References

1. Методический подход к определению показателя и шкалы оценки защищенности населения жилых зданий при химическом заражении территории / А. В. Рыбаков, Е. В. Иванов, Л. Н. Горина, А. В. Кузьмин // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2018. – № 2(37). – С. 32–39.

Rybakov A.V., Ivanov E.V., Gorina L.N., Kuzmin A.V. *Metodicheskiy podkhod k opredeleniyu pokazatelya i shkaly zashchishchyonnosti naseleniya zhilykh zdaniy pri khimicheskom zarazhenii territorii* [A methodological approach to determining the indicator and scale of assessment of the protection of the population of residential buildings in case of chemical contamination of the territory]. *Nauchnyye i obrazovatelnyye problemy grazhdanskoй zashchity*, 2018, vol. 2(37), pp. 32-29. (In Russian)

2. Мухин, В. И. Информационная технология контроля мероприятий по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций, содержащихся в паспорте безопасности субъекта Российской Федерации / В. И. Мухин, А. М. Бурмакин, С. В. Самойлов // Технологии гражданской безопасности. – 2011. – Т. 8, № 2(28). – С. 84–88.

Mukhin, V. I., Burmakin, A. M., Samoilo, S. V. *Informatsionnaya tekhnologiya kontrolya meropriyatiy po snizheniyu riska vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy sodержashchikhsya v pasporte bezopasnosti sub'ekta Rossiyskoy Federatsii* [Information technology for monitoring measures to reduce the risk of emergency situations contained in the safety data sheet of the subject of the Russian Federation]. *Tekhnologii grazhdanskoй bezopasnosti*, 2011, vol. 8, no. 2(28), pp. 84-88. (In Russian)

3. Методика оценки комплексного индивидуального риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. – Москва : ВНИИ ГО ЧС, 2002. – 34 с.

Metodika otsenki kompleksnogo individualnogo riska chrezvychaynykh situatsiy prirodnoгo i tekhnogennogo kharaktera [Methodology for assessing the complex individual risk of natural and man-made emergency situations]. Moscow, VNI GO Emergencies, 2002, 34 p. (In Russian)

4. Мастрюков, Б. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях / Б. С. Мастрюков. – Москва : Академия, 2003. – 336 с.

Mastryukov, B. S. *Bezopasnost v chrezvychaynykh situatsiyakh* [Safety in emergency situations]. Moscow, Publishing center “Academy”, 2003, 336 p. (In Russian)

5. Жукова, Л. А. Динамики основных показателей состояния защиты населения и территорий в Российской Федерации / Л.А. Жукова, А. О. Жуков // Технологии гражданской безопасности. – 2016. – Т. 13, № 1(47). – С. 62–68.

Zhukova, L. A., Zhukov, A. O. *Dinamici osnovnykh pokazateley sostoyaniya zashchity naseleniya i territoriy v Rossiyskoy Federatsii* [Dynamics of the main indicators of the state of protection of the population and territories in the Russian Federation]. *Tekhnologii grazhdanskoй bezopasnosti*, 2016, vol. 13, no. 1(47), pp. 62-68. (In Russian)

Alexander Viktorovich Kuzmin, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor; e-mail: avkuzmin16@gmail.com
Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI
420111, Kazan, ulitsa Tolstogo, 15. Phone: +7 (909) 311-57-22

Adela Rinatovna Isaeva, glavspets.; e-mail: isaevaar17@mail.ru
The Main Directorate of the EMERCOM of Russia in the Republic of Tatarstan
420088, Kazan, ulitsa Akademika Gubkina 50. Phone: +7 (965) 590-79-77

Roman Nikolaevich Zinkevich, senior firefighter and rescuer; e-mail: 60psch.7psa@mail.ru
The 60th fire and rescue unit of the 7th fire and rescue squad of the FPS GPS
of the Main Directorate of the EMERCOM of Russia in the Republic of Tatarstan
420076, Kazan, Lesoparkovyy pereulok, 19. Phone: +7 (8432) 23-93-41

A METHODOLOGY FOR ASSESSING NATURAL RISKS TO DEVELOP A SAFETY PASSPORT FOR THE TERRITORY

Objective. Improving mechanisms for ensuring the safety of life of the population based on forecasting rapidly developing hazardous natural processes

Methods. A comprehensive research method was used, including analysis of literary sources, theoretical research using mathematical formulas.

Results. The risk assessment methodology proposed in the work is a combination of existing methods and modern technologies, which allows for a detailed analysis of the possible consequences of natural emergencies for specific territories, taking into account their geographical, economic and social characteristics

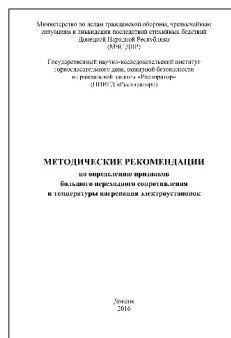
Scientific novelty. Systematization and ranking of hazardous natural processes with subsequent assessment of the risk of natural emergencies.

Practical value. The results of the above methodology can be taken as a basis for the formation of regulatory documents in the field of protecting the population and territories from emergency situations at the regional and municipal levels, including in the territory's safety passport.

Keywords: *goal setting, emergency situations; risk assessment; comprehensive security; EMERCOM of Russia.*

For citation: Kuzmin A. V., Isaeva A. R., Zinkevich R. N. A methodology for assessing natural risks to develop a safety passport for the territory. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, № 3(61), pp. 112–120. EDN DGNVKA.

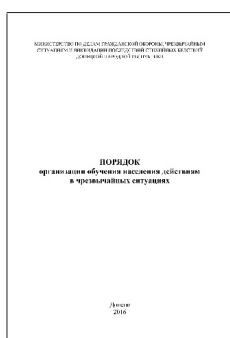
Издания НИИ «Респиратор»



Методические рекомендации по определению признаков большого переходного сопротивления и температуры нагрева электроустановок : утв. МЧС ДНР 14.03.2016. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2016. – 32 с.

Описан механизм возникновения большого переходного сопротивления, даны рекомендации по изъятию вещественных доказательств с места пожара для проведения комплексного инструментального исследования и определению температуры нагрева в месте контактного соединения электроустановок.

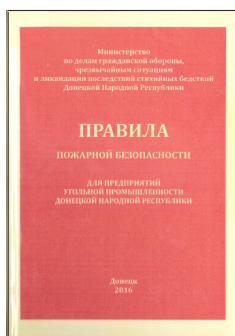
Предназначены для специалистов, занимающихся экспертизой пожаров на промышленных и бытовых объектах.



Порядок организации обучения населения действиям в чрезвычайных ситуациях : утв. МЧС ДНР 27.05.2016. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2016. – 28 с.

Приведены общие положения порядка обучения населения действиям в чрезвычайных ситуациях, основы распределения населения по группам обучения, формы и методы обучения, описана необходимая учебная материально-техническая база и документы.

Предназначен для республиканских органов исполнительной власти, органов местного самоуправления, предприятий, учреждений, организаций независимо от формы собственности, учебных заведений и учебно-методических центров (курсов).



Правила пожарной безопасности для предприятий угольной промышленности ДНР. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2016. – 304 с.

В основу настоящих Правил положены требования Закона ДНР «О пожарной безопасности», Горного закона и Правил безопасности в угольных шахтах ДНР. Учтены изменения, произошедшие в горно-геологических условиях шахт, способах и средствах противоаварийной защиты, проветривания горных выработок, технологиях ликвидации пожаров и их последствий, а также в горной и горноспасательной науке, отраслевой нормативной базе.

Правила устанавливают требования пожарной безопасности для действующих, строящихся, реконструируемых и ликвидируемых шахт (подземных и поверхностных комплексов), обогатительных и брикетных фабрик.

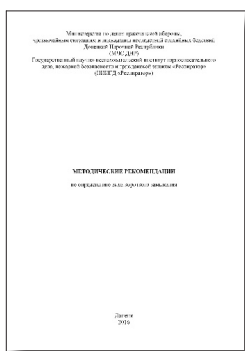
Требования Правил обязательны для выполнения командным и рядовым составом пожарно-спасательных и горноспасательных подразделений МЧС ДНР, рабочими, служащими и инженерно-техническими работниками предприятий угольной промышленности ДНР.



Методические рекомендации по определению вида короткого замыкания : утв. МЧС ДНР 05.11.2015. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2016. – 29 с.

Описано обследование электроустановок на месте пожара, порядок изъятия образцов и этапы проведения комплексного инструментального исследования.

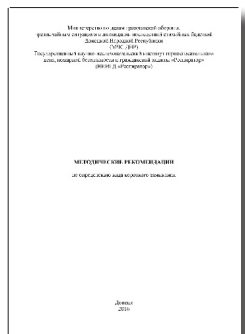
Предназначены для специалистов, занимающихся экспертизой пожаров на промышленных и бытовых объектах.



Наставление по тактической подготовке основного личного состава подразделений ГВГСС МЧС ДНР : утв. МЧС ДНР 05.12.2017 № 417. – Донецк, 2017. – 324 с.

Наставление является пособием для практической подготовки основного личного состава ГВГСС МЧС ДНР, отработки тактических приемов и навыков поведения при ведении горноспасательных работ в экстремальных условиях, применения горноспасательного оснащения и правил коллективного взаимодействия горноспасателей в составе отделения при ликвидации различных аварий.

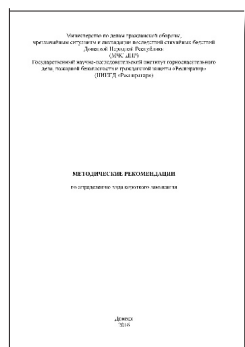
Для основного личного состава подразделений ГВГСС МЧС ДНР и членов вспомогательных горноспасательных команд горных предприятий.



Пособие по применению аварийно-спасательного инструмента и оборудования, находящегося на вооружении подразделений МЧС ДНР : утв. МЧС ДНР 05.12.2017 № 417. – Донецк, 2017. – 220 с.

В пособии 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.

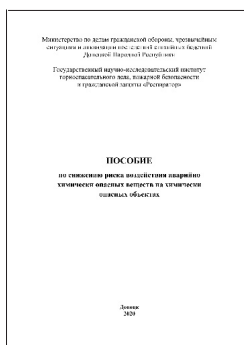
Пособие предназначено для обучения личного состава подразделений аварийно-спасательных формирований МЧС ДНР, использования при эксплуатации АСИО



Атлас по определению признаков аварийных режимов работы электрооборудования : утв. МЧС ДНР 18.10.2018. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2018. – 154 с.

Представлены иллюстрации оплавлений фрагментов электроустановок, изъятых с места пожара.

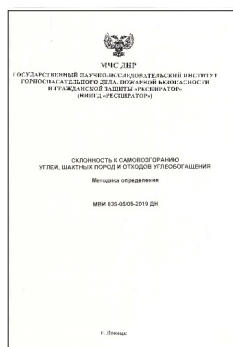
Предназначен для специалистов, занимающихся инструментальными исследованиями и составлением заключения о причинах возникновения пожара.



Пособие по снижению риска воздействия аварийно химически опасных веществ на химически опасных объектах : утв. МЧС ДНР 17.12.2019. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2020. – 88 с.

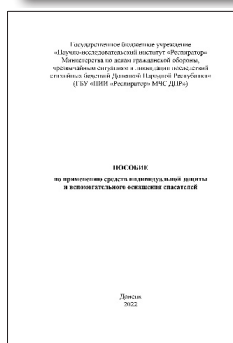
Установлены необходимость и периодичность проведения анализа риска, конкретные уровни и критерии приемлемого риска. Представлены основные методы анализа опасностей и оценки риска возникновения аварий на химически опасных объектах.

Для территориальных органов и подразделений МЧС ДНР, а также для образовательных учреждений МЧС ДНР.



МВИ 035-05/05-2019 ДН. Склонность к самовозгоранию углей, шахтных пород и отходов углеобогащения. Методика определения : утв. НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР 26 марта 2019 г. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2019. – 22 с.

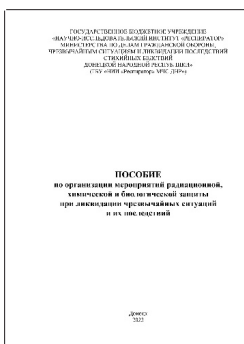
Установлена методика выполнения измерений параметров и расчет на их основе комплексного показателя склонности к самовозгоранию углей, шахтных пород и отходов углеобогащения.



Пособие по применению средств индивидуальной защиты и вспомогательного оснащения спасателей : утв. МЧС ДНР 30.06.2022. – Донецк : ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР», 2022. – 92 с.

Установлены общие требования к процессу выбора и организации эффективного применения средств индивидуальной защиты личным составом пожарно-спасательных подразделений МЧС ДНР. Представлены технические характеристики средств индивидуальной защиты пожарно-спасательных подразделений.

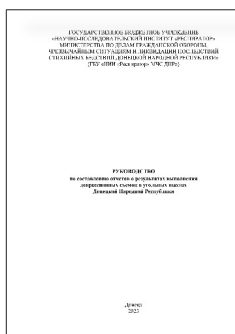
Для территориальных органов и подразделений МЧС ДНР, а также рекомендуется для использования в учебном процессе образовательных учреждений МЧС ДНР.



Пособие по организации мероприятий радиационной, химической и биологической защиты при ликвидации чрезвычайных ситуаций и их последствий : утв. МЧС ДНР 21.03.2023. – Донецк : ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР», 2023. – 68 с.

Установлены общие подходы, принципы и требования к процессу организации эффективных мероприятий по защите населения, материальных и культурных ценностей при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций радиационного, химического и биологического характера.

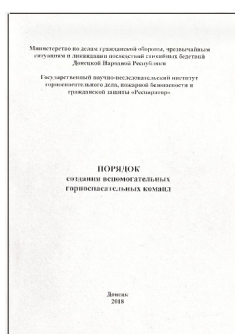
Для территориальных органов и подразделений МЧС ДНР, а также рекомендуется для использования в учебном процессе образовательных учреждений МЧС ДНР.



Руководство по составлению отчетов о результатах выполнения депрессионных съемок в угольных шахтах Донецкой Народной Республики : утв. МЧС ДНР 30.01.2023. – Донецк : ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР», 2023. – 24 с.

Представлен порядок составления отчетов и особенности оценки состояния проветривания шахт, обеспеченности объектов проветривания расчетным количеством воздуха, и компьютерного моделирования вентиляционной сети шахт, выводов и рекомендаций по совершенствованию проветривания шахт.

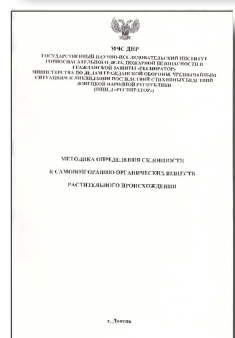
Предназначено для работников ГВГСС МЧС ДНР.



Порядок создания вспомогательных горноспасательных команд : утв. МЧС ДНР 16.03.2018 № 81. – Донецк, 2018. – 16 с.

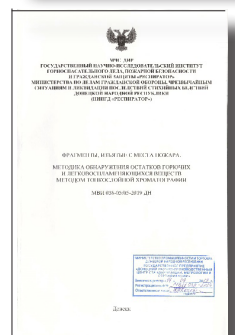
Приведены задачи и порядок комплектования вспомогательных горноспасательных команд (ВГК), обучения и переподготовки членов ВГК.

Для специалистов, эксплуатирующих опасные производственные объекты I и II класса опасности, на которых ведутся горные работы.



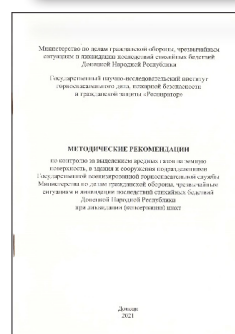
Методика определения склонности к самовозгоранию органических веществ растительного происхождения : утв. Приказом МЧС ДНР от 22 июля 2019 г. № 239. – Донецк : НИИГД «Респиратор», 2019. – 13 с.

Предназначена для расчета температур самовозгорания и определения параметров горения органических веществ растительного происхождения при исследовании образцов с места пожара, представленных на исследование.



МВИ 038-05/05-2019 ДН. Фрагменты, изъятые с места пожара : утв. 14 сентября 2019 г. – Донецк, 2019.

Методика обнаружения остатков горючих и легковоспламеняющихся веществ методом тонкослойной хроматографии.



Методические рекомендации по контролю за выделением вредных газов на земную поверхность, в здания и сооружения подразделениями Государственной военизированной горноспасательной службы Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики по ликвидации (консервации) шахт. – Донецк, 2021.

Публикационная этика

Редакция «Научного вестника НИИ «Респиратор», издаваемого Федеральным государственным казенным учреждением «Научно-исследовательский институт «Респиратор» Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», поддерживает определенный уровень требований при отборе и приеме статей, представленных в редакцию научного рецензируемого издания. Эти нормы зависят от научных направлений, которые определены Свидетельством о регистрации средства массовой информации и стандартами качества научных работ и их изложения, принятыми в научном сообществе.

При разработке положений публикационной этики «Научного вестника НИИ «Респиратор» редакция руководствовалась рекомендациями Комитета по этике публикаций – Committee on Publication Ethics (COPE) и опытом работы зарубежных профессиональных сообществ, научных организаций и редакций изданий.

Существенным признаком профессионального научного сообщества является принятие учеными и специалистами кодекса, который устанавливает основные нормы поведения и обязанности членов сообщества по отношению друг к другу и к общественности. Такой кодекс определяется желанием обеспечить максимальную пользу для профессионального сообщества и ограничить действия, которые могли бы служить узкоэгоистическим интересам отдельных лиц, а также обеспечить право каждого автора на интеллектуальную собственность.

Имея в виду вышесказанное, редакция научного рецензируемого издания представляет ниже набор этических норм, которыми должны руководствоваться лица, участвующие в публикации результатов исследований по безопасности жизнедеятельности человека, смежным отраслям и другим направлениям, соответствующим профилю журнала (редакторы, авторы и рецензенты).

Редакция полагает, что представленные ниже правила осознаны и одобрены большинством квалифицированных исследователей, они также могут оказать существенную помощь студентам, аспирантам и молодым ученым, которые являются до некоторой степени новичками в исследовательской деятельности. Признанные ученые могут приветствовать возможность еще раз вернуться к вопросам, которые имеют большое значение для научной практики.

Этические обязательства редакторов

1. Все публикуемые материалы проходят тщательный отбор и рецензируются. Редколлегия оставляет за собой право отклонить статью или вернуть ее на доработку. Автор обязан доработать статью в соответствии с замечаниями рецензентов или редколлегии.

2. Редактор должен без предубеждения рассматривать все рукописи, представленные к публикации, оценивая каждую по достоинству, невзирая на расовую, религиозную, национальную принадлежность, а также положение или место работы автора (авторов). Редактор может, однако, принять во внимание связь рассматриваемой в данный момент рукописи с другими, представленными ранее работами тех же авторов.

3. Редактор должен настолько возможно быстро рассматривать рукописи, представленные к публикации.

4. Вся ответственность за принятие или отклонение рукописи лежит на редакторе. Ответственный и взвешенный подход к исполнению этих обязанностей обычно подразумевает, что редактор принимает во внимание рекомендацию рецензента с ученой

степенью соответствующего научного направления относительно качества и достоверности рукописи, представленной к публикации. Однако рукописи могут быть отвергнуты без рецензирования, если редактор считает, что они не соответствуют профилю журнала.

5. Редактор и члены редакции не должны предоставлять другим лицам никакой информации, связанной с содержанием рукописи, находящейся на рассмотрении, кроме лиц, которые участвуют в профессиональной оценке данной рукописи. После позитивного решения редактора относительно рукописи статья публикуется в научном рецензируемом издании и размещается на соответствующих электронных ресурсах.

6. Допускается распространение по электронным сетям любых статей из научного рецензируемого издания или выдержек из них, но при таком распространении ссылка на первоисточник обязательна. Запрещается издание и/или распространение материалов журнала третьими лицами или организациями на бумажных и твердых электронных носителях.

7. В соответствии с международным законодательством в части соблюдения авторского права на электронные информационные ресурсы, материалы сайта, электронного издания или проекта не могут быть воспроизведены полностью или частично в любой форме (электронной или печатной) без предварительного письменного согласия авторов и редакции научного рецензируемого издания. При использовании опубликованных материалов в контексте других документов необходима ссылка на первоисточник.

8. Редактор должен уважать интеллектуальную независимость авторов.

9. Ответственность и права редактора научного рецензируемого издания в отношении любой представленной рукописи, автором которой является сам редактор, должны быть делегированы какому-либо другому квалифицированному лицу.

10. Неопубликованная информация, аргументы или интерпретации, раскрытые в представленной рукописи, могут быть использованы в собственных исследованиях редактора только с согласия автора. Если рукопись настолько близко связана с настоящими или прошлыми исследованиями редактора, что может возникнуть конфликт интересов, редактор должен принять меры к тому, чтобы какое-либо другое квалифицированное лицо приняло на себя редакционную ответственность за данную рукопись.

11. Если редактору представлены убедительные свидетельства того, что основное содержание или выводы работы, опубликованной в журнале, являются ошибочными, он должен способствовать публикации соответствующего сообщения, указывающего на данную ошибку и, если возможно, исправляющего ее. Это сообщение может быть написано лицом, обнаружившим данную ошибку, или независимым автором.

12. Автор может потребовать, чтобы редактор не использовал некоторых рецензентов при рассмотрении рукописи. Однако редактор может принять решение использовать одного или нескольких из этих рецензентов, если он чувствует, что их мнения важны для беспристрастного рассмотрения рукописи. Такое решение может быть принято, например, в том случае, когда имеются серьезные противоречия между данной рукописью и предыдущей работой потенциального рецензента.

Этические обязательства авторов

1. Основная обязанность автора состоит в том, чтобы представить точный отчет о проведенном исследовании, а также объективное обсуждение его значимости.

2. Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией

статьи. Редакция вправе изъять уже опубликованную статью, если выяснится, что в процессе публикации статьи были нарушены чьи-либо права или же общепринятые нормы научной этики. О факте изъятия статьи редакция сообщает автору, который представил статью, рекомендуя и организации, где работа выполнялась.

3. Журнальный объем представляет собой ограниченный ресурс, потому автор обязан использовать его разумно и экономно.

4. Первичное сообщение о результатах исследования должно быть достаточно полным и содержать необходимые ссылки на доступные источники информации, чтобы специалисты могли повторить данную работу. Если требуется, автор должен приложить приемлемые усилия для того, чтобы предоставить другим исследователям образцы необычных материалов, которые не могут быть получены каким-либо иным способом; при этом принимаются соответствующие соглашения о передаче материалов, ограничивающие область использования таких материалов, чтобы защитить законные интересы авторов.

5. Автор должен цитировать те публикации, которые оказали определяющее влияние на существо излагаемой работы, а также те, которые могут быстро познакомить читателя с более ранними работами, существенными для понимания данного исследования. За исключением обзоров, следует минимизировать цитирование работ, которые не имеют непосредственного отношения к данному сообщению. Автор обязан провести литературный поиск, чтобы найти и процитировать оригинальные публикации, в которых описываются исследования, тесно связанные с данным сообщением. Необходимо также должным образом указывать источники принципиально важных материалов, использованных в данной работе, если эти материалы не были получены самим автором.

6. В рукописи четко указываются любые опасности и риски, связанные с проведенными исследованиями.

7. Следует избегать фрагментации сообщений об исследовании. Ученый, который выполняет широкие исследования системы или группы родственных систем, должен организовать публикацию так, чтобы каждое сообщение давало вполне законченный отчет о каждом аспекте общего исследования.

8. При подготовке рукописи к публикации автор должен информировать редактора о родственных рукописях автора, представленных в печать или принятых к печати. Копии этих рукописей должны быть представлены редактору, и должны быть указаны их связи с рукописью, представленной к публикации.

9. Автор не должен представлять рукописи, описывающие по существу одни и те же результаты, более чем в один журнал в виде первичной публикации, если только это не повторное представление отвергнутой журналом или отозванной автором рукописи. Допустимо представлять рукопись полной статьи, расширяющей ранее опубликованный краткий предварительный отчет (сообщение) о той же самой работе. Однако при представлении такой рукописи редактор должен быть уведомлен о более раннем сообщении, а это предварительное сообщение должно быть процитировано в данной рукописи.

10. Автор должен явно указать источники всей процитированной или представленной информации, за исключением общеизвестных сведений. Информация, полученная в частном порядке, в процессе беседы, при переписке или во время обсуждения с третьими сторонами, не должна быть использована или сообщена в работе автора без четкого разрешения исследователя, от которого данная информация была получена. С информацией, полученной при оказании конфиденциальных услуг, как, например, при рецензировании рукописей или проектов, представленных для получения грантов, следует обращаться таким же образом.

11. Экспериментальное или теоретическое исследование может иногда послужить основой для критики работы другого исследователя. Публикуемые статьи в соответствующих случаях могут содержать подобную критику. Персональная критика, однако, не может считаться уместной ни при каких обстоятельствах.

12. Соавторами статьи должны быть все те лица, которые внесли значительный научный вклад в представленную работу и которые разделяют ответственность за полученные результаты. Другие вклады должны быть отмечены в примечаниях или в разделе «Благодарности». Административные отношения с данным исследованием сами по себе не являются основанием для квалификации соответствующего лица как соавтора (но в отдельных случаях может быть уместно отметить значительную административную помощь в работе). Скончавшиеся лица, удовлетворяющие сформулированным выше критериям, должны быть включены в число авторов, а в примечании должна быть указана дата их смерти. В качестве автора или соавтора нельзя указывать фиктивные имена. Автор, который представляет рукопись к публикации, отвечает за то, чтобы в список соавторов были включены все те и только те лица, которые соответствуют критерию авторства. В статье, написанной несколькими авторами, тот из авторов, кто представляет в редакцию контактные сведения, документы и ведет переписку с редакторами, берет на себя ответственность за согласие остальных авторов статьи на ее публикацию в журнале.

13. Авторы должны поставить редактора в известность о любом потенциальном конфликте интересов, например, консалтинговых или финансовых интересов какой-либо компании, на которые могла бы повлиять публикация результатов, содержащихся в данной рукописи. Авторы должны гарантировать отсутствие контрактных отношений или соображений собственности, которые могли бы повлиять на публикацию информации, содержащейся в представленной рукописи.

Этические обязательства рецензентов

1. Поскольку рецензирование рукописей представляет собой существенный этап в процессе публикации и, таким образом, в реализации научного метода как такового, каждый ученый обязан выполнять определенную долю работ по рецензированию.

2. Если выбранный рецензент не уверен, что его квалификация соответствует уровню исследований, представленных в рукописи, он должен сразу вернуть рукопись.

3. Рецензент должен объективно оценить качество рукописи, представленную экспериментальную и теоретическую работу, ее интерпретацию и изложение, а также учесть, в какой мере работа соответствует высоким научным и литературным стандартам. Рецензент должен уважать интеллектуальную независимость авторов.

4. Рецензент должен учитывать возможность конфликта интересов в случае, когда рассматриваемая рукопись близко связана с текущей или опубликованной работой рецензента. Если имеются сомнения, рецензент должен сразу вернуть рукопись без рецензии, указав на конфликт интересов.

5. Рецензент не должен оценивать рукопись, с автором или соавтором которой он имеет личные или профессиональные связи, и если такие отношения могут повлиять на суждение о рукописи.

6. Рецензент должен обращаться с рукописью, присланной на рецензию, как с конфиденциальным документом. Он не должен показывать рукопись другим лицам или обсуждать ее с коллегами, за исключением особых случаев, когда рецензент нуждается в чьей-либо специальной консультации.

7. Рецензенты должны адекватно объяснить и аргументировать свои суждения, чтобы редакторы и авторы могли понять, на чем основаны их замечания. Любое утверждение о том, что наблюдение, вывод или аргумент был уже ранее опубликован, должно сопровождаться соответствующей ссылкой.

8. Рецензент должен отмечать любые случаи недостаточного цитирования авторами работ других ученых, имеющих непосредственное отношение к рецензируемой работе; при этом следует учитывать, что замечания по недостаточному цитированию собственных исследований рецензента могут выглядеть как пристрастные. Рецензент должен обратить внимание редактора на любое существенное сходство между рассматриваемой рукописью и любой опубликованной статьей или любой рукописью, одновременно представленной в другой журнал.

9. Рецензент должен своевременно представить отзыв.

10. Рецензенты не должны использовать или раскрывать неопубликованную информацию, аргументы или интерпретации, содержащиеся в рассматриваемой рукописи, если на это нет согласия автора. Однако, когда такая информация указывает на то, что некоторые из собственных исследований рецензента могут оказаться безрезультатными, прекращение такой работы рецензентом не противоречит этическим нормам.

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, № 3(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 к выходу в свет 19.09.2024.

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

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

Объем 4,5 Мб

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

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

Дата размещения на сайте 25 сентября 2024 г.