



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

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК НИИ «РЕСПИРАТОР»

№ 4(61)

Выходит 4 раза в год

Основан в 1970 г.

УДК 614.8"363"+355.244.2+622.867

Научный вестник НИИ «Респиратор». – Донецк, 2024. – № 4(61). – 135 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: Федеральное государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России».

Издатель: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий; Федеральное государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России».

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 19.12.2024 по рекомендации Ученого совета ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» (протокол № 8 от 28.11.2024).

Дата выхода в свет 24.12.2024.

Зарегистрирован Министерством информации ДНР.

Свидетельство о регистрации печатной версии журнала ААА № 000263 от 09.08.2022.



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

SCIENTIFIC BULLETIN OF THE NII “RESPIRATOR”

No. 4(61)

Published quarterly

Founded in 1970

Scientific bulletin of the NII "Respirator". – Donetsk, 2024. – No. 4(61). – 135 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: 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»/

Publisher: Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Moscow, Vatutina St., 1); FSI NII «Respirator» EMERCOM of Russia (Donetsk, Artema st., 157)

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 19.12.2024 according to the reference of the Academic council of FSI NII "Respirator" EMERCOM of Russia (proceeding no. 8 from 28.11.2024).

Release date: 24.12.2024.

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

Registration certificate of the printing version of the publication AAA no. 000263 from 09.08.2022.

СОДЕРЖАНИЕ

I. Пожарная безопасность

Канин В. А., Агеев В. Г.Совершенствование
огнезащитных покрытий на основе
карбамидоформальдегидной смолы**Лабинский К. Н., Томилов М. К.**Определение огнетушащей способности
водных растворов, модифицированных
неорганическими соединениями**Булкин С. А., Шарифуллина Л. Р.,
Гузенков С. А.**Выбор сорбентов для ликвидации
разливов токсичных веществ
с помощью генеративных моделей
и классических методов математической
оптимизации**Лебедева В. В., Храпоненко О. В.,
Щербак О. Н.**Подвижная фаза для идентификации
нефтепродуктов методом
тонкослойной хроматографии

II. Безопасность труда

Черкесов В. В., Петров А. В.Возможности психофизиологической
адаптации спасателей при использовании
современной аварийно-спасательной
техники (Информационно-
аналитический анализ. Часть 2)**Черкесов В. В., Мороз Т. О.**Оценка психоэмоционального
статуса пожарных-спасателей
МЧС России**Петренко П. П., Рыбаков А. В.,
Иванов Е. В., Кузьмин А. В.**Оценка защищенности спасателей
при проведении аварийно-
спасательных работ путем
установки крепей

TABLE OF CONTENTS

I. Fire safety

Kanin V. A., Ageyev V. G.7 Improvement of fire protection
coatings based on urea-formaldehyde
resin**Labinskiy K. N., Tomilov M. K.**18 Determination of fire extinguishing
capacity of aqueous solutions modified
by inorganic compounds**Bulkin S. A., Sharifullina L. R.,
Guzenkov S. A.**26 Selection of sorbents for the elimination
of toxic substances spills using
generative models and classical
methods of mathematical
optimization**Lebedeva V. V., Khraponenko O. V.,
Shcherbakova O. N.**37 Mobile phase for petroleum
products identification by thin-layer
chromatography method

II. Occupational safety

Cherkesov V. V., Petrov A. V.44 Possibilities of rescuers
psychophysiological adaptation
using modern technology emergency
rescue equipment (Information and
analytical analysis. Part 2)**Cherkesov V. V., Moroz T. O.**55 Psychoemotional status assessment
of the firefighters and rescuers
of the EMERCOM of Russia**Petrenko P. P., Rybakov A. V.,
Ivanov Ye. V., Kuzmin A. V.**65 Implementation of a methodological
approach to assessing the safety
of rescuers during emergency rescue
operations by installing fasteners

**Мельников С. А., Капран Л. Н.,
Киринов В. Н., Литвинов В. В.**

Обеспечение устойчивого
поддержания подготовительных
выработок с применением
крепей усиления

III. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Мамаев В. В., Костюк Е. Р.

Экологическая оценка последствий
консервации и закрытия
угольных шахт

**Шаповалов В. В., Журавлев С. В.,
Берестовая А. А.**

Утилизация пероксидных компонентов
средств регенерации воздуха
с получением функциональных
медьсодержащих материалов

Самигуллин Г. Х., Евлоев З. Б.

Оценка вероятности эскалации
аварий на объектах производства
и хранения сжиженного природного
газа

**Медгаус В. В., Плетенецкий Р. С.,
Галухин Н. А.**

Обоснование параметров вакуумного
насоса для средств иммобилизации
пострадавших

**Рыбаков А. В., Янышев П. А.,
Поляков А. Ю.**

Обоснование мероприятий,
непосредственно влияющих
на снижение ущерба от возможных
аварий на опасных производственных
объектах

**Указатель статей, опубликованных
в журнале «Научный вестник
НИИ «Респиратор»» за 2024 год**

**Melnikov S. A., Kapran L. N.,
Kirin V. N., Litvinov V. V.**

72 The ensuring of the sustainable
maintenance of preparatory mine
workings with the use
of reinforcement supports

III. Safety in emergency situations

Mamaev V. V., Kostyuk Ye. R.

79 Environmental assessment
of the consequences of conservation
and closure of coal mines

**Shapovalov V. V., Zhuravlev S. V.,
Berestovaya A. A.**

86 Disposal of peroxide components
of air regeneration means
to obtain functional copper-containing
materials

Samigullin G. H., Evloev Z. B.

97 Assessment of the probability of escalation
of accidents at liquefied natural gas
production and storage
facilities

**Medgaus V. M., Pletenetskiy R. S.,
Galukhin N. A.**

107 Justification of the vacuum pump
parameters for the victims immobilization
devices

**Rybakov A. V., Yanyshchev P. A.,
Polyakov A. Yu.**

114 On the approach to substantiate the list
of measures that directly affect
the reduction of damage from
possible accidents at hazardous
production facilities

125

I. Пожарная безопасность

УДК 614.841.332:[699.812.3:678.652]

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

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

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ

Цель. Совершенствование полимеров на основе карбамидоформальдегидной смолы для их использования в качестве огнезащитных покрытий деревянных, металлических и бетонных конструкций.

Методы. Физико-механические (прочность на сжатие и прочность адгезии), физико-химические (инфракрасная спектроскопия) и аналитические (гелеобразование, отверждение, усадка) методы установления механизма отверждения и интегральной оценки качества исследуемых полимеров; испытания полимеров на горючесть.

Результаты. При отверждении карбамидной смолы КФ-МТ-15 изо-метилтетрагидрофталевым ангидридом (изо-МТГФА) образуется карбамидно-ангидридный полимер, который имеет трехмерную сетчатую структуру за счет сшивки макромолекул метиленовыми группами; обладает более прочными водородными и углерод-водородными связями в амидных группах; характеризуется преобладанием сложных эфиров и отсутствием слабых метиленэфирных связей, и содержит большое количество функциональных групп с высокой реакционной способностью, что в совокупности определяет его повышенную прочность (45...65 МПа), высокую адгезию к горным породам, бетонам, деревянным и металлическим конструкциям (2,5...5,4 МПа), небольшую усадку (0,6...2,1 %) и низкую токсичность. По результатам испытаний горючести карбамидно-ангидридного полимера установлено, что он относится к группе трудногорючих материалов. При нагревании до 200 °С карбамидно-ангидридный полимер в среднем в 15 раз меньше теряет массу, чем карбамидно-кислотный полимер, а скорость потери этой массы в 37 раз меньше.

Научная новизна. Впервые установлено, что карбамидно-ангидридный полимер имеет трехмерную сетчатую структуру, характеризуется отсутствием слабых метиленэфирных связей, обладает прочными водородными связями и содержит функциональные группы с высокой реакционной способностью, что определяет его высокие физико-механические свойства, низкую токсичность и горючесть.

Практическая значимость. Трудногорючий карбамидно-ангидридный полимер, обладая высокой прочностью и высокой адгезией практически ко всем твердым материалам, самостоятельно или в сочетании с негорючими наполнителями может эффективно использоваться в качестве огнезащитного покрытия для бетонных, металлических и деревянных конструкций.

Ключевые слова: карбамидно-ангидридный полимер; физико-механические и физико-химические свойства; токсичность; категория горючести; огнезащитные покрытия для бетонных, металлических и деревянных конструкций на поверхности и в подземных горных выработках.

Для цитирования: Канин В. А., Агеев В. Г. Совершенствование огнезащитных покрытий на основе карбамидоформальдегидной смолы // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 4(61). – С. 7–17. – EDN: GIRXUR.

Постановка проблемы. Предотвращение несчастных случаев, крупных аварий и катастроф с человеческими жертвами, минимизация их последствий – в настоящее время важные направления в обеспечении промышленной безопасности угольных шахт, других предприятий угольной промышленности и гражданской инфраструктуры. Эта проблема стоит на первом месте и в профилактической работе по снижению факторов пожарной и токсической опасности на угольных шахтах. По современным нормам все конструкции из дерева, примыкающие к вскрывающим горным выработкам, деревянная затяжка арочной крепи, деревянные перемычки, возводимые в подземных горных выработках, должны обрабатываться огнезащитным составом.

В настоящее время для создания огнезащитных покрытий предлагается широкий ассортимент материалов [1–5], включающий: органо-разбавляемые огнезащитные однокомпонентные составы вспучивающегося типа, предназначенные для повышения предела огнестойкости стальных конструкций; огнезащитные краски и покрытия типа ZASLON, создающие на поверхности металла теплоизолирующий слой, который предотвращает его нагревание и потерю прочности при воздействии высоких температур; огнезащитные лаки и мастики ZASLON, проникающие в структуру дерева, создавая барьер, препятствующий воспламенению и распространению огня; для защиты деревянных конструкций от возгорания используют также антипирены – фосфорнокислый аммоний $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$, сернокислый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, борная кислота H_3BO_3 и другие, которые при нагревании внутри древесины разлагаются с образованием фосфорной или серной кислоты, которые, дегидрируя древесину, препятствуют образованию высококалорийных газов типа метана, в результате чего древесина не горит, а медленно разлагается (глеет), что, в свою очередь, не является положительным эффектом. Большая роль в огнезащите деревянных и металлических конструкций, повышении огнестойкости полимерных материалов принадлежит полимерным композиционным материалам, которые защищают конструкции от воздействия пламени, агрессивных сред, влажности и коррозии.

Для повышения огнезащиты полимерных материалов используют синтез негорючих полимеров, химическую модификацию полимеров, применяют антипирены, наполнители, наносят огнезащитные покрытия; комбинируют различные способы получения материалов пониженной горючести с учетом назначения материала, требований в отношении его технических и технологических показателей, стоимости и т. д. С точки зрения характеристики горючести полимерных материалов, наиболее плодотворна и перспективна их химическая модификация с использованием реакционноспособных антипиренов. В последние годы широко применяют огнезащитные композиции на основе карбамидоформальдегидных и феноло-формальдегидных смол [1], которые представляют собой смесь олигомерных и низкомолекулярных продуктов конденсации мочевины или фенола с формальдегидом в присутствии основных или кислотных катализаторов. Карбамидные полимеры менее горючи, чем феноло-формальдегидные, из-за большого содержания азота в структуре. При разложении они выделяют негорючие газы (аммиак), воду, двуокись углерода. Однако наряду с этим образуются сильно токсичные продукты (цианистый водород, дициан, окись углерода). В высокотемпературном пламени (1000...1500 °C) карбамидные

(особенно мочевиноформальдегидные) полимерные материалы разрушаются, вспучиваются, образуют обугленный слой, который постепенно выгорает полностью. При горении рассматриваемые полимеры выделяют сравнительно мало дыма. Химическая модификация карбамидных и феноло-формальдегидных смол для повышения термостойкости полимеров приводит к увеличению их стойкости к воздействию пламени. Горючесть смолы снижали введением антипиренов: диаммонийфосфата и тетрабората натрия. Эти же добавки должны были выполнять функции вспучивающих агентов. В качестве наполнителя применяли вермикулит, флогопит, глину, рубленое стекловолокно и волокно-распущенный асбест.

Карбамидные смолы отличаются высокой скоростью отверждения и устойчивой адгезивностью покрытия. Образуют бесцветный клеевой шов, что позволяет применять их в широком спектре промышленной продукции. По своим техническим характеристикам они уступают прочности и водостойкости эпоксидных и полиэфирных материалов, зато в несколько раз превосходят их по своей доступности и низкой себестоимости. Как и все остальные продукты карбамидной группы, карбамидоформальдегидные смолы обладают высокой степенью гидролиза, а потому не применяются для наружной эксплуатации в условиях повышенной влажности.

Карбамидные смолы выпускают с широким спектром марочного состава – КФБ, КФЖ, КФ-МТС-10, КФ-МСК, КФ-МТ-15 и др. Наименьшую токсичность в отношении формальдегида и метанола имеет смола КФ-МТ-15 (табл. 1).

Таблица 1

Уровни выделения формальдегида и метанола из карбамидных смол

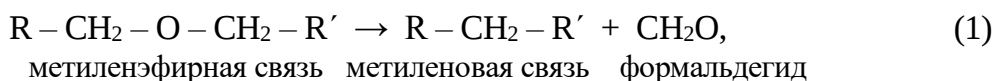
Марка смолы	Содержание свободного формальдегида в смоле, %	Выделение формальдегида, 10^3 мг/(см ² ·мин)	Выделение метанола, 10^3 мг/(см ² ·мин)
МФФ-М	1,00	$0,72 \pm 0,18$	$27,80 \pm 11,70$
КФ-МТ	0,30	$0,09 \pm 0,03$	$26,00 \pm 4,50$
КС-СОМ-0,1П	1,00	$0,82 \pm 0,03$	$17,60 \pm 0,80$
КФ-МТ-15	0,15	$0,09 \pm 0,02$	$8,20 \pm 0,30$

Улучшением свойств отвержденных карбамидных полимеров путем их модификации многофункциональными добавками активно занимались в ряде НИИ, но отверждение карбамидных смол, главным образом смолы КФ-Ж, происходило в кислотной среде, создаваемой растворами хлорного железа, ортофосфорной и щавелевой кислоты. Наилучший результат по адгезионной прочности и усадке был достигнут при модификации смолы КФ-Ж полиизоцианатом и ее отверждении ортофосфорной кислотой. Состав имел кратность вспенивания 1,5...2,0 и прочность адгезии 1,2...2,3 МПа, но прочность на сжатие была низкой. Уменьшить содержание формальдегида в 2,5...8 раз удалось при модификации смолы лигносульфонатами, но при этом механическая и адгезионная прочность уменьшалась. Наибольшую прочность на сжатие (94,5 МПа) имел состав из 98,4 % смолы и 1,6 % раствора щавелевой кислоты, но его усадка составляла 10,0 %, а время гелеобразования 60 мин. Наименьшую

усадку (2,0 %) имеют составы из 92,2 % смолы и 7,8 % раствора H_3PO_4 , а также из 97,6 % смолы и 2,4 % раствора H_3PO_4 . Прочность на сжатие этих составов соответственно 57,6 и 66,6 МПа; время гелеобразования 3,0 и 6,0 мин; время отверждения – 12,0 и 18,0 ч. Минимальное время гелеобразования (0,5 мин) отмечено у состава из 84,6 % смолы и 15,4 % раствора H_3PO_4 , но его прочность на сжатие 38,2 МПа, а усадка 4,0 %. Прочность адгезии к песчанику всех составов в начальной стадии отверждения изменялась в пределах 0,8...1,2 МПа, возрастая с увеличением концентрации отвердителя. После отверждения и усадки адгезия резко уменьшалась, иногда до нуля. Проведенные исследования позволили сделать вывод, что при отверждении карбамидной смолы в кислотной среде можно улучшать лишь отдельные характеристики карбамидного полимера, но задача его комплексного совершенствования не решалась, поскольку для использования этого полимера в качестве огнезащитного покрытия он должен иметь низкую токсичность и усадку, высокую механическую и адгезионную прочность и непродолжительное время отверждения.

Цель работы – совершенствование полимеров на основе карбамидоформальдегидной смолы для их использования в качестве огнезащитных покрытий деревянных, металлических и бетонных конструкций.

Результаты исследований. Карбамидный полимер, синтезированный из карбамидоформальдегидной смолы в кислой среде, имеет пространственное (сетчатое) строение, но его структура характеризуется недостаточной разветвленностью цепей и малым количеством поперечных связей, что обуславливает низкое коксовое число карбамидного полимера (14,0...21,5 %), его быструю деструкцию при нагревании без доступа воздуха и пониженную водостойкость [6]. В процессе отверждения карбамидного полимера выделение формальдегида происходит за счет превращения метиленэфирных связей в метиленовые по схеме [6]:



что приводит к интенсивному выделению формальдегида, а следовательно, к увеличению токсичности, усадки и растрескивания материала в процессе его полимеризации. Твердый карбамидно-кислотный полимер содержит также 10...25 % воды в диспергированном состоянии, испарение которой – еще одна причина его усадки.

В 2000-е годы в РАНИМИ на основе мочевиноформальдегидной смолы КФ-МТ-15 и изо-метилтетрагидрофталевого ангидрида был синтезирован полимер СКАТ [7]. Первоначально он был задуман как скрепляющий состав (геоклей) для эффективного закрепления нарушенных горных пород. При этом многочисленные лабораторные исследования отдельных свойств этого полимера, интегральная оценка его скрепляющих качеств и апробация в угольных шахтах показали несомненные преимущества над карбамидными составами кислотного отверждения и ряда зарубежных скрепляющих составов в части адгезии, усадки и токсичности [8].

Для интегральной оценки качества любого полимера, предназначенного для работ в горных выработках шахт и рудников, используют непосредственные результаты его «работы» – физико-механические свойства закрепленных пород, токсиколого-гигиенические характеристики и горючесть.

Многократными лабораторными испытаниями установлено, что прочность адгезии полимера СКАТ к горным породам и бетону при концентрации изо-МТГФА 8,0...11,0 % составляет 3,5...5,4 МПа, к древесине и металлу 2,5...3,5 МПа. Прочность на сжатие в первые 2-3 часа после начала отверждения достигает уровня 10...12 МПа. Через сутки прочность увеличивается до 32...44 МПа, через 5 сут до 64 МПа, через 10 сут и далее – 65 МПа. При испытаниях одного образца полимера СКАТ, который хранился в лабораторном помещении в открытой атмосфере в течение двух с половиной лет, прочность на одноосное сжатие составляла 90 МПа, а керамическую плитку, приклеенную к бетонной поверхности, через два года можно было удалить только после ее полного разрушения. Это весьма существенное отличие от карбамидно-кислотных полимеров, у которых со временем происходит необратимое снижение прочностных характеристик. Образцы раздробленных пород, независимо от их литологического типа, с содержанием 5 % полимера СКАТ закрепляют до уровня $(0,73...0,78)\sigma_{сж}$ ненарушенных образцов, а при использовании карбамидно-кислотных полимеров этот показатель не превышает $0,5\sigma_{сж}$ при минимальных значениях $0,27\sigma_{сж}$.

По результатам токсиколого-гигиенических исследований, выполненных в НИИ медико-экологических проблем Донбасса, полимеру СКАТ были присвоены следующие классы токсичности:

- в неотвержденном виде:

при однократном ингаляционном воздействии – 3, умеренно токсичный;

при однократном введении в желудок – 4, малотоксичный;

при однократном нанесении на кожу – 0, отсутствие раздражающего действия;

- в отвержденном виде:

при однократном ингаляционном воздействии – 4, малотоксичный;

при однократном введении в желудок – 4, малотоксичный;

при однократном нанесении на кожу – 0, отсутствие раздражающего действия.

Один из комплексных показателей, характеризующих химическую природу и эксплуатационные свойства материалов, – их склонность к горению. Для сравнительной оценки этого показателя в испытательной пожарной лаборатории УПБ УМВД в Донецкой области были испытаны две полимерные композиции – СКАТ и Карбопласт (смола КФ-МТ-15, отвержденная 50 %-м раствором $FeCl_3$) (Патент 53041А. Україна, МКВ С08L61/10. Суміш для одержання піноматеріалів на основі карбамідних смол / Анциферов А. В., Божданський В. Б., Канін В. О., Пащенко О. В.) (табл. 2).

Как видно из данных табл. 2, при нагревании образцов полимера СКАТ до 200 °С потеря массы в различных опытах составила 3,4...4,6 %; при таком же нагревании образцов карбамидно-кислотного полимера «Карбопласт» потеря их массы составляла 61...62 %, то есть в 15 раз больше, а скорость потери этой массы при нагревании полимера «Карбопласт» была в 37 раз выше, чем при нагревании полимера СКАТ.

В химии высокомолекулярных соединений снижение деструкции полимера при нагревании однозначно свидетельствует об увеличении в нем поперечных связей и большей разветвленности цепей [9]. Следовательно, карбамидно-ангидридный полимер, в отличие от карбамидно-кислотных полимеров, полимеризуется при качественно ином механизме отверждения.

Таблица 2

Данные к определению горючести материалов на основе карбамидной смолы

Материал и № протокола определения группы горючести	№ опыта	Температура в реакционной камере (t), °C	Максимальная температура ($t_{\max}$) отходящих газов, °C	$\Delta t = t_{\max} - t$, °C	Время достижения $t_{\max}$, с	Масса образца, г		Потеря массы образца при испытании, %
						до испытания	после испытания	
СКАТ Пр. № 15 от 23.06.01	1	200	250	50	300	123	118	4,0
	2	200	245	45	300	115	111	3,4
	3	200	255	55	300	129	123	4,6
Карбопласт Пр. № 16 от 13.08.02	1	200	580	380	134	11,5	4,4	62,0
	2	200	555	355	120	10,3	4,0	61,0
	3	200	575	375	126	10,8	4,2	61,0

Исследования механизма отверждения полимера СКАТ выполняли по трем направлениям – изучение теплового эффекта реакции, определение потери массы полимерной смеси при отверждении и установление образовавшихся химических связей.

Тепловой эффект при отверждении КА-клея изучали на специальной установке, в которой температуру полимерной смеси измеряли дистанционно с помощью тарированного терморезистора ТС2-26. Параллельно с измерениями температуры, но с меньшей частотой, определяемой качественными изменениями хода реакции, оценивали вязкость полимерной смеси по времени ее стекания со стеклянной палочки. Анализ полученных результатов показал, что процесс отверждения полимера СКАТ состоит как минимум из пяти стадий.

На первой стадии (0...4 мин) тепловой эффект отсутствует – при точке отсчета 21,5 °C температура полимерной смеси составляла 21,5...21,6 °C. Вязкость смеси также оставалась неизменной. Исходя из этого, первую стадию можно рассматривать как период индукции, но, по данным из работы [10], отверждение карбамидных смол происходит без индукционного периода. На второй стадии (5...49 мин) наблюдается непрерывное повышение температуры смеси до 35,2 °C со скоростью 0,3 °C/мин. Такое выделение тепла в процессе полимеризации смеси характерно для экзотермических реакций, при которых происходит образование макромолекул, их сшивка и формирование сетчатого полимера. На заключительной части стадии произошло образование геля. На основании этого можно заключить, что наблюдаемая реакция является необратимой поликонденсацией. Третья стадия (50...65 мин) характеризуется стабилизацией реакционной температуры смеси на уровне 34,8...35,1 °C, которая, вероятнее всего, связана с наступлением равновесия между экзо- и эндотермическими реакциями. В течение этой короткой стадии (14 мин) гель превратился в пластичное тело. На четвертой стадии (66...1226 мин) происходило снижение температуры полимера от 35,1 до 20,5 °C (при комнатной температуре

21,5 °С), что характерно для эндотермических реакций. Полимерная смесь превратилась в твердое тело. В последующие 2 сут, которые можно рассматривать как пятую стадию, температура полимера повысилась до 21,5 °С и проявились усадочные процессы. Через 73 ч после начала смешивания смолы и изо-МТГФА прочность полимера на сжатие составила 52 МПа.

При отверждении полимера СКАТ потеря его массы на 14...16 % определяется условиями массообмена с окружающей средой, выделившаяся вода химически с ним не связана. Остальная часть воды (14...16 %, т. к. в исходном состоянии полимер СКАТ содержит 30 % воды) вошла в тонкую структуру полимера и даже при длительном нагревании не выделялась. С потерей массы полимерной смеси при отверждении тесно связана величина ее усадки (L_1). В случае отверждения полимера СКАТ на воздухе зависимость $L_1 = f(\Delta M)$ с достоверностью $R^2 = 0,989$ аппроксимируется полиномом

$$L_1 = 0,0006 \cdot \Delta M^4 - 0,0204 \cdot \Delta M^3 + 0,235 \cdot \Delta M^2 - 0,5136 \cdot \Delta M + 0,1143.$$

Поскольку при отверждении полимера СКАТ выделяется в 2 раза меньше воды, чем у карбамидно-кислотных полимеров, то и его усадка, соответственно, меньше. При отверждении на воздухе усадка 2,0 % достигается при потере 7,0 % массы. В целом же усадка состава полимера СКАТ в первые сутки в 10...30 раз меньше усадки карбамидно-кислотных полимеров.

Характер химических связей, образующихся при модификации смолы КФ-МТ-15 изо-МТГФА, анализировался путем сравнения ИК-спектров смолы КФ-МТ-15, модифицированной 10 %-м раствором H_3PO_4 , полимера СКАТ и изо-МТГФА гидролизованного, которые были получены в ИнФОРУ им. Л. М. Литвиненко на спектрометре Specord-80М в области поглощения с частотами 4000...400 см^{-1} . Не приводя достаточно объемного детального анализа полученных ИК-спектров, остановимся на основных особенностях механизма взаимодействия изо-МТГФА с карбамидной смолой КФ-МТ-15.

- При выборе изо-МТГФА в качестве модификатора карбамидной смолы планировалось, что при смешивании со смолой он будет химически связывать воду и создавать кислую среду для конденсации метилолмочевин. Однако, как показали результаты исследований, гидролиз изо-МТГФА протекает медленнее, чем твердеет полимер СКАТ, и при гидролизе изо-МТГФА образуются концевые группы $-\text{COOH}$, которые не способны принять участие в сшивке метилолмочевин, но, уменьшая рН среды, способствуют их поликонденсации. Таким образом, в случае гидролиза изо-МТГФА он выступал бы в роли кислотного катализатора, и полимер СКАТ по своим свойствам мало чем отличался бы от карбамидно-кислотных составов.

- Изо-МТГФА имеет две активные функциональные группы – ангидридную группу и двойную $>\text{C}=\text{C}<$ связь. Метиллолмочевин в карбамидной смоле имеют три функциональные группы – OH ; NH_2 и NH . Этого количества функциональных групп достаточно для рассмотрения варианта синтеза карбамидного полимера, при котором реакция отверждения протекает путем химического взаимодействия функциональных групп и двойных связей олигомера и отвердителя.

- В первую очередь изо-МТГФА взаимодействует с наиболее активной функциональной группой метилолмочевин – гидроксильной группой метилольной группы монометиллолмочевина. При этом происходит раскрытие кольца ангидрида

и образование карбоксильной, сложноэфирной и амидной групп. Метилломочевины могут присоединяться к изо-МТГФА и по двойной связи. Не исключено, что по этой связи к изо-МТГФА присоединяется и свободный формальдегид.

Таким образом, в механизме отверждения карбамидной смолы взятый в качестве модификатора изо-МТГФА участвует в нескольких реакциях, являясь активным центром, формирующим большие агрегаты молекул, которые посредством метиленовых мостиков и амидных связей «сшиваются» в твердый, нерастворимый полимер трехмерной структуры.

Определенную функцию в формировании полимера СКАТ могут выполнять и карбоксильные группы. Несмотря на то, что карбоновые кислоты слабее минеральных, они способны уменьшать pH среды до уровня, при котором возможна реакция поликонденсации метилломочевин. Кроме того, введение карбоксила в метилломочевину вместо гидроксила приводит к увеличению подвижности атомов водорода и амидов за счет большей электроотрицательности карбоксильных групп в ангидридном остатке. В воде карбоксильные группы диссоциируют на ионы COO^- и H^+ . При этом COO^- вступают в межфазную водородную связь с молекулами воды, увеличивая притяжение последней к поверхности полимера (в данном случае – субстрата).

Установленные особенности механизма модификации смолы КФ-МТ-15 изо-МТГФА практически полностью определяют качественные отличия полимера СКАТ от карбидно-кислотных полимеров.

По сравнению с простыми эфирами сложные эфиры – более устойчивые звенья макромолекул. Преобладание в полимере СКАТ сложных эфиров и незначительное содержание слабых метиленэфирных связей, при разложении которых происходит выделение формальдегида, обеспечивает низкую токсичность материала и является одним из элементов снижения его усадки. Метиленовые группы формируют сетчатую структуру полимера, обеспечивая сшивку макромолекул. Увеличение числа метиленовых групп повышает плотность поперечных связей (сетки) и снижает кинетическую подвижность отрезков сетки между узлами, повышая прочность и термостойкость материала. Полимер СКАТ по сравнению с карбамидно-кислотными полимерами обладает более прочными водородными связями и более прочными углерод-водородными связями в амидных группах и, как следствие, – более высокими и устойчивыми к внешним воздействиям механическими характеристиками. Высокая адгезия полимера СКАТ к различным субстратам, в том числе к горным породам (бетону), древесине и металлу, определяется большим содержанием в нем функциональных групп с высокой реакционной способностью – карбоксильных, амидных и гидроксильных, способных к образованию межфазных химических связей на границе раздела адгезив (полимер СКАТ) – субстрат (порода, металл, дерево). Функциональные группы с высокой реакционной способностью повышают также адгезионный потенциал внутренних поверхностей полимера в процессе отверждения и после него, а анионы COO^- карбоксильных групп вступают в межфазную водородную связь с молекулами воды. Выход диспергированной воды из структуры полимера СКАТ затрудняется, вследствие этого существенно снижается его усадка.

Таким образом, в механизме отверждения карбамидной смолы взятый в качестве модификатора изо-МТГФА участвует в нескольких реакциях, являясь активным центром, формирующим большие агрегаты молекул, которые посредством метиленовых мостиков и амидных связей «сшиваются» в твердый, нерастворимый полимер трехмерной структуры.

Определенную функцию в формировании полимера СКАТ могут выполнять и карбоксильные группы. Несмотря на то, что карбоновые кислоты слабее минеральных, они способны уменьшать pH среды до уровня, при котором возможна реакция поликонденсации метилोलмочевин. Кроме того, введение карбоксила в метилोलмочевину вместо гидроксила приводит к увеличению подвижности атомов водорода и амидов за счет большей электроотрицательности карбоксильных групп в ангидридном остатке. В воде карбоксильные группы диссоциируют на ионы COO^- и H^+ . При этом COO^- вступают в межфазную водородную связь с молекулами воды, увеличивая притяжение последней к поверхности полимера (в данном случае – субстрата).

Выводы. При модификации карбамидной смолы изо-МТГФА образуется полимер СКАТ, который характеризуется преобладанием сложных эфиров и отсутствием слабых метиленэфирных связей и содержит большое количество функциональных групп с высокой реакционной способностью. Он имеет повышенную прочность (45...65 МПа) и высокую адгезию (2,5...5,4 МПа) к целому ряду материалов, небольшую усадку (0,6...2,1 %), низкую токсичность и относится к группе трудногорючих материалов. Все это определяет возможность его использования самостоятельно или в сочетании с негорючими наполнителями в качестве огнезащитного покрытия для бетонных, металлических и деревянных конструкций.

Список литературы / References

1. Егоров, А. Н. Современные способы огнезащиты конструкций и полимерных материалов : монография / А. Н. Егоров. – Бузулук : БГТИ (филиал) ОГУ; ООО ИПК «Университет», 2016. – 97 с.

Yegorov, A. N. *Sovremennyye sposoby ognezashchity konstruksiy i polimernykh materialov: monografiya* [Modern methods of fire protection of structures and polymer materials : monograph]. Buzuluk, BGTI (filial) OGU; ООО ИПК «Университет», 2016. 97 p. (In Russian)

2. Асеева, Р. М. Горение полимерных материалов / Р. М. Асеева, Г. Е. Заиков. – Москва : Наука, 1981. – 280 с.

Aseyeva, R. M., Zaikov G. E. *Goreniye polimernykh materialov* [Combustion of polymeric materials]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 280 p. (In Russian)

3. Полимерные материалы с пониженной горючестью / под ред. чл.-кор. АН СССР А. Н. Праведникова ; сост.: В. В. Копылов, С. Н. Новиков, Л. А. Оксентьевич [и др.]. – Москва : Химия, 1986. – 224 с.

Pravednikov, A. N., ed., chl.-cor. Academy of Sciences of the USSR; comp.: V. V. Kopylov, S. N. Novikov, L. A. Oksentievich [et al.]. *Polimernyye materialy s ponizhennoy goryuchest'yu* [Polymer materials with reduced flammability]. Moscow, Khimiya Publ., 1986. 224 p. (In Russian)

4. Кодолов, В. И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов / В. И. Кодолов. – Москва : Химия, 1976. – 160 с.

Kodolov, V. I. *Goryuchest' i ognestoykost' polimernykh materialov* [Flammability and fire resistance of polymer materials]. Moscow, Khimiya Publ., 1976. 160 p. (In Russian)

5. Берлин, А. А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести / А. А. Берлин // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 9. – С. 57–63.

Berlin, A. A. *Goreniye polimerov i polimernykh materialov ponizhennoy goryuchesti* [Burning polymers and polymer materials of reduced combustibility]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*, 1996, no. 9, pp. 57-63. (In Russian)

6. Оудиан, Дж. Основа химии полимеров. – Москва : Мир, 1974. – 616 с.

Oudian, Dzh. *Osnova khimii polimerov* [The basis of polymer chemistry]. – Moscow, Mir Publ., 1974. 616 p. (In Russian)

7. Канин, В. А. О механизме отверждения карбамидной смолы изометилтетрагидрофталевым ангидридом / В. А. Канин, А. В. Пащенко // Полимерный журнал. – 2007. – XXIX, № 3. – С. 208–213.

Kanin, V. A., Pashchenko A. V. *O mekhanizme otverzhdeniya karbamidnoy smoly izometiltetragidrofhtalevym angidridom* [On the mechanism of carbamide resin curing with isomethyltetrahydrophthalic anhydride]. *Polimernyy zhurnal*, 2007, XXIX, № 3, pp. 208-213. (In Russian)

8. Канин, В. А. Многоцелевой геоклей для закрепления неустойчивых пород и гидроизоляции горного массива / В. А. Канин, А. В. Пащенко // Журнал теоретической и прикладной механики. – 2019. – № 2-3 (67-68). – С. 75–84.

Kanin, V. A., Pashchenko A. V. *Mnogotselevoy geokley dlya zakrepleniya neustoychivyykh porod i gidroizolyatsii gornogo massiva* [Multi-purpose geoclay for fixing unstable rocks and waterproofing the mountain range]. *Zhurnal teoreticheskoy i prikladnoy mekhaniki*, 2019, № 2-3 (67-68), pp. 75-84. (In Russian)

9. Виноградова, С. В. Поликонденсационные процессы и полимеры / С. В. Виноградова, В. А. Васнев. – Москва : Наука, 2000. – 373 с.

Vinogradova, S. V., Vasnev V. A. *Polikondensatsionnyye protsessy i polimery* [Polycondensation processes and polymers]. Moscow, Nauka Publ., 2000. 373 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 18.10.2024
Дата опубликования 19.12.2024

Vladimir Alekseyevich Kanin, Dr. Sci. (Tech.), Leading Researcher; e-mail: vlkanin2@yandex.ru
Federal State Budgetary Scientific Institution "Republican Academic Research and Design Institute
of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying"
283001, Donetsk, 291, ulitsa Chelyuskintsev. Phone: +7 (949) 368-06-21
Vladimir Grigoryevich Ageyev, Dr. Sci. (Tech.), Leading Researcher; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru
Federal State Institution "The Scientific Research Institute "Respirator" EMERCOM of Russia"
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-36

IMPROVEMENT OF FIRE-PROTECTIVE COATINGS BASED ON UREA-FORMALDEHYDE RESIN

Objective. Improvement of polymers based on urea-formaldehyde resin for their use as fire-protective coatings for wooden, metal and concrete structures.

Methods. Physicomechanical (compressive strength and adhesion strength), physicochemical (infrared spectroscopy) and analytical (gelation, curing, shrinkage) methods for establishing the curing mechanism and integral quality assessment of the polymers under study; polymer flammability tests.

Results. When curing the urea resin KF-MT-15 with iso-methyltetrahydrophthalic anhydride (iso-MTHPA), a urea-anhydride polymer is formed, which has a three-dimensional network structure due to cross-linking of macromolecules with methylene groups; has stronger hydrogen and carbon-hydrogen bonds in amide groups; is characterized by the predominance of esters and the absence of weak methylene ether bonds and contains a large number of functional groups with high reactivity, which together determines its increased strength (45–65 MPa), high adhesion to rocks, concrete, wooden and metal structures (2.5–5.4 MPa), low shrinkage (0.6–2.1%) and low toxicity. According to the results of flammability tests of the carbamide anhydride polymer, it was established that it belongs to the group of hardly flammable materials. When heated to 200 °C, the carbamide anhydride polymer loses, on average, 15 times less mass than the carbamide acid polymer, and the rate of mass loss is 37 times lower.

Scientific novelty. It has been established for the first time that the carbamide anhydride polymer has a three-dimensional network structure, is characterized by the absence of weak methylene ether bonds, has strong hydrogen bonds and contains functional groups with high reactivity, which determines its high physical and mechanical properties, low toxicity and flammability.

Practical value. The flame-retardant carbamide anhydride polymer, having high strength and high adhesion to almost all solid materials, can be effectively used alone or in combination with non-flammable fillers as a fire-protective coating for concrete, metal and wooden structures.

Key words: carbamide anhydride polymer; physical, mechanical and physical and chemical properties; toxicity; flammability category; fire protection coatings for concrete, metal and wooden structures on the surface and in underground mine workings.

For citation: Kanin V. A., Ageyev V. G. Improvement of fire protection coatings based on urea-formaldehyde resin. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 4 (61), pp. 7-17. EDN: GIRXUR.

УДК 614.842.612:001.891.53

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

Максим Константинович Томилов, инж. II кат.; e-mail: m.tomilov@80.mchs.gov.ru
Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респирактор» МЧС России»

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОГNETУШАЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Цель. Экспериментально установить влияние антипиренов на повышение огнетушащей способности водного раствора жидкого натриевого стекла для выбора наиболее функциональной добавки-модификатора.

Методы. Экспериментальный метод определения огнетушащей способности водных композиций в лабораторных условиях, корреляционный анализ и графический метод оформления результатов экспериментов.

Результаты. Полученная графическая зависимость влияния антипиренов на огнетушащую способность водного раствора жидкого натриевого стекла позволила установить наиболее оптимальный антипирен – сульфат калия в водной композиции, который повышает огнетушащую способность водного раствора.

Научная новизна. Впервые получена графическая зависимость влияния антипиренов на огнетушащую способность водного раствора жидкого натриевого стекла. Экспериментально установлено оптимальное содержание антипиренов в составе водных растворов.

Практическая значимость. Используя результаты исследования, можно выбрать наиболее функциональные добавки-модификаторы к воде для эффективного тушения пожаров класса А (твердые горючие материалы) и В (горючие жидкости).

Ключевые слова: антипирены; водорастворимые добавки; рецептура состава; огнетушащая способность; жидкое стекло; сульфат калия; тушение пожаров класса А и В.

Для цитирования: Лабинский К. Н., Томилов М. К. Определение огнетушащей способности водных растворов, модифицированных неорганическими соединениями // Научный вестник НИИ «Респирактор». – 2024. – № 4(61). – С. 18–25. – EDN: JNIZTH.

Постановка проблемы. Решение проблем, связанных с пожарами, предусматривает внедрение новейших технологий в область пожаротушения, применение современных экологически чистых, высокоэффективных огнетушащих веществ и средств их подачи в очаг пожара. В настоящее время для повышения эффективности пожаротушения широко используют тонкораспыленную воду, эффективность потока которой обусловлена высокой удельной поверхностью мелких частиц (среднеарифметический диаметр капель не более 150 мкм) и повышением охлаждающего эффекта за счет проникающего равномерного действия воды непосредственно на очаг горения и увеличения теплосъема [1]. Однако у воды, как огнетушащего средства, существуют недостатки – плохая смачиваемость (коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = 72,86 \cdot 10^{-3}$ Дж/м² при температуре 20 °С) и низкая вязкость (динамический коэффициент вязкости $\mu = 8,9 \cdot 10^{-4}$ Па·с при температуре 25 °С), что обуславливает слабые адгезионные свойства воды и приводит к повышению ее расхода

при ликвидации пожара. Для устранения отмеченных недостатков и повышения огнетушащей способности воды применяют химические добавки – модификаторы.

Анализ последних исследований. Доступная в научно-технической литературе информация [2–4] свидетельствует о перспективности применения химических реагентов для модификации физико-химических и огнетушащих свойств водных растворов. Из работ [5–8] известно, что улучшенными параметрами тушения пожаров обладает водный раствор жидкого стекла. Вместе с тем, несмотря на большое число опубликованных результатов исследований различных ингибиторов горения, объем сведений об их огнетушащей способности невелик.

Анализ существующей научной проблемы определил **цель настоящего исследования** – экспериментально установить влияние антипиренов на повышение огнетушащей способности водного раствора жидкого натриевого стекла для выбора наиболее функциональной добавки-модификатора

Методика эксперимента. В качестве объекта исследования выбраны: жидкое натриевое стекло ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$, где n – силикатный модуль); карбамид ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$); сульфат калия (K_2SO_4); фосфат калия (KH_2PO_4); карбонат кальция (CaCO_3); циануровая кислота ($\text{C}_3\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_3$); диаммонийфосфат в форме удобрения ($\text{H}_4\text{H}_2\text{PO}_4$); сульфат железа (III)-аммония ($\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$); бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).

Исследования проводили согласно разработанной методике, которая предусматривала эксперименты по тушению модельного очага горения водными композициями, содержащими 0...60 масс. % жидкого натриевого стекла для установления его наиболее эффективного процентного содержания. Последующая серия экспериментов включала сравнительные исследования по определению и оценке огнетушащей способности антипиренов в композиции с оптимальным соотношением жидкого стекла и воды. Для этого в композицию вводили 0...15 масс. % каждого из исследуемых антипиренов. Оценку огнетушащей способности композиций выполняли на лабораторной установке (рис. 1).

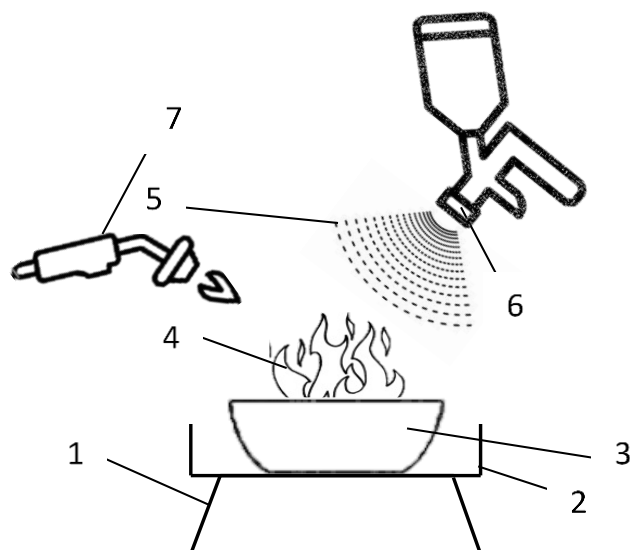


Рис. 1. Схема лабораторной установки для оценки огнетушащей способности водных композиций:

1 – подставка; 2 – поднос; 3 – емкость для бензина; 4 – пламя; 5 – распыляемая вода с химической добавкой; 6 – мелкодисперсный распылитель; 7 – газовая горелка

Исследуемую композицию набрали в мелкодисперсный распылитель объемом 100 мл. На подставку с подносом установили металлическую емкость диаметром 100 мм и высотой стенки 20 мм, в которую налили 2 мл бензина и подожгли при помощи газовой горелки. Распылитель поднесли на расстояние 200 мм к емкости и распыляли композицию до полного тушения пламени (4), момент которого регистрировали визуально. В качестве горючего вещества использовали автомобильный бензин марки АИ-95 (табл. 1).

Критерием оценки огнетушащей способности композиций выбрано количество распылений, израсходованных на полное прекращение горения модельного очага. Дополнительно огнезащитную эффективность композиций оценивали сравнением с результатом тушения пламени технической водой без применения антипиренов, фиксируя количество распылений, затраченных на полное тушение пламени.

Таблица 1

Эталонные характеристики бензина марки АИ-95

Показатель	Значение
Октановое число	не менее 95
Содержание свинца	не более 5 мг/100 см ³
Индукционный период	не менее 360 мин
Массовая доля серы	не более 0,05 %
Объемная доля бензола	не более 5 %
Испытание на медной пластине	выдерживает, класс 1
Внешний вид	чистый, прозрачный
Плотность при 15 °С	725–780 кг/м ³

Результаты исследования позволили установить зависимость огнетушащей способности воды (количество распылений композиции, затраченных на полное тушение пламени, n) от содержания в ней жидкого стекла m , масс. %, в диапазоне концентраций 0...60 масс. % (табл. 2).

Установлено, что массовое содержание жидкого стекла в воде, при котором достигается наименьшее количество распылений (8 раз), следовательно, и повышение огнетушащей способности воды (в 1,8 раза по отношению к воде без добавок), составляет 10 масс. % (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что с увеличением содержания жидкого стекла в пределах 0...10 % наблюдается практически линейное уменьшение количества затраченных распылений водного состава, однако затем (в пределах 0...60 %) происходит рост, описываемый логарифмической зависимостью, с характерной точкой бифуркации – 10 %.

Для выбора наиболее эффективного антипирена, повышающего огнетушащую способность воды, модифицированной 10 масс. % жидкого стекла, были проведены сравнительные исследования.

Следует отметить, что среди исследованных антипиренов наиболее эффективное влияние на процесс тушения очага горения оказала добавка в композицию хорошо растворимого в воде сульфата калия за счет образования

тонкой поверхностной пленки, препятствующей поступлению кислорода воздуха к очагу горения, и последующего затухания пламени. Эффективность тушения визуально отмечена уже на втором распылении композиции при тушении горящего бензина.

Таблица 2

Влияние содержание жидкого стекла на огнетушащую способность воды

Содержание жидкого стекла в составе, %	Номер эксперимента								Среднее значение, раз
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Подача огнетушащего состава в эксперименте до прекращения горения, раз								
0	15	14	15	13	13	12	14	13	14
1	15	13	13	12	14	14	13	14	14
2	14	13	12	13	13	13	12	13	12
3	12	13	14	12	14	13	12	12	12
4	14	11	10	10	13	12	13	15	12
5	9	12	13	13	10	11	13	13	11
6	12	10	13	12	12	12	10	10	11
7	12	10	10	11	10	11	12	11	11
8	12	9	11	10	11	9	9	9	10
9	8	10	9	7	7	13	9	7	8
10	7	8	9	8	6	7	8	10	8
20	9	11	8	6	8	10	9	8	9
50	11	10	12	10	11	9	9	10	10
60	10	11	9	12	9	10	9	10	10

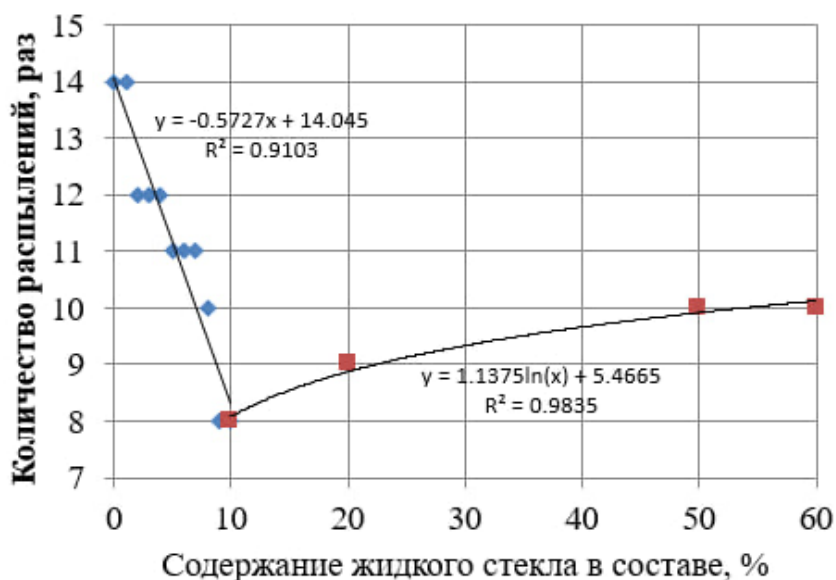


Рис. 2. Зависимость огнетушащей способности воды от содержания жидкого стекла

На основании результатов экспериментов построен график зависимости (рис. 3), позволяющий наглядно сравнить и оценить огнетушащую способность композиций на основе 10 %-го водного раствора жидкого стекла с добавками различных антипиренов.

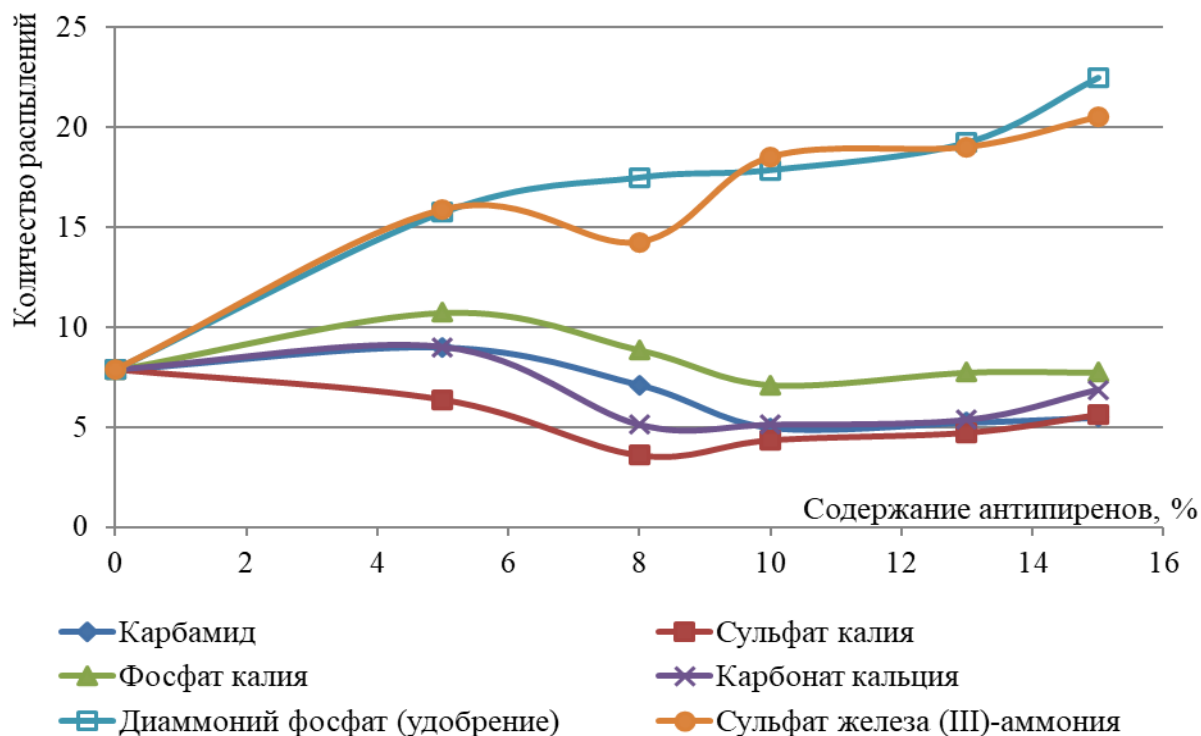


Рис. 3. Влияние антипиренов на повышение огнетушащей способности композиций

Как видно из рис. 3, три антипирена с содержанием 8...13 масс. % снижают объем водного раствора для тушения на 35...37 % (с 8 до 3...5 распылений). Таким образом, введение 10 масс. % жидкого стекла повысило огнетушащую способность водного состава в 1,8 раза, добавка 8 масс. % сульфата калия – в 2,3 раза.

Вывод. Результаты исследования позволили установить, что водный раствор с концентрацией жидкого стекла 10 масс. % и антипиренов – 10...13 масс. % обладает огнетушащими свойствами, значительно превышающими огнетушащие характеристики воды.

Список литературы / References

1. Засыпка, П. А. Этапы развития системы автоматического пожаротушения тонкораспыленной водой. Зарубежный опыт / П. А. Засыпка // Теория и практика современной науки. – 2020. – № 2(56). – С. 78–81.

Zasyпка, P. A. *Etapy razvitiya sistemy avtomaticheskogo pozharotusheniya tonkoraspylyonnoy vodoy* [Stages of development of automatic water spray fire extinguishing system. International practices]. *Teoriya i praktika sovremennoy nauki*, 2020, no. 2(56), pp. 78-81. (In Russian)

2. Гуцев, Н. Д. Результаты разработки нового универсального огнетушащего состава со смачивающими, пенообразующими и антипиренными свойствами / Н. Д. Гуцев, Н. В. Михайлова, Н. А. Грабежева // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2017. – № 1. – С. 62–77.

Gutsev, N. D., Mikhaylova, N. V., Grabezheva, N. A. *Rezultaty razrabotki novogo universalnogo ognetushashchego sostava so smachivayushchimi, penoobrazuyushchimi i antipirennymi svoystvami* [Results of development of new universal fire-extinguishing composition with wetting, foaming and antipyrine capacities]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva*, 2017, no. 1, pp. 62-77. (In Russian)

3. Корольченко, Д. А. Оценка времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара в зданиях и сооружениях с учетом механизма тушения пламени веществами различной природы и степени дисперсности : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» (строительство) : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Корольченко Дмитрий Александрович. – Москва, 2021. – 391 с. Место защиты: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

Korolchenko, D. A. *Otsenka vremeni blokirovaniya putey evakuatsii opasnymi faktorami pozhara v zdaniyakh i cooruzheniyakh s uchetom mekhanizma tusheniya plameni veshchestvami razlichnoy prirody i stepeni dispersnosti* [Estimation of the time of blocking evacuation routes by fire hazards in buildings and structures, taking into account the mechanism of extinguishing the flame with substances of various nature and degree of dispersion : 05.26.03 “Fire and Industrial Safety” (construction) specialty : Candidate of Technical Sciences dissertation / Korolchenko Dmitriy Aleksandrovich]. Moscow, 2022, 391 p. Place of thesis defence: FGBOU VO “National Research University Moscow University of Civil Engineering”. (In Russian)

4. Жуйков, В. А. Анализ проблем повышения эффективности теплопереноса в создании новых огнетушащих составов / В. А. Жуйков, Н. Н. Старков, К. А. Руфанов // Военный инженер. – 2017. – № 2(4). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-problem-povysheniya-effektivnosti-teploperenosa-v-sozdanii-novyh-ognetushashchih-sostavov> (дата обращения: 13.12.2023).

Zhuykov, V. A., Starkov, N. N., Rufanov, K. A. *Analiz problem povysheniya effektivnosti teploperenosa v sozdanii novykh ognetushashchikh sostavov* [Analysis of problems of heat transfer effectiveness improvement in development of new fire-extinguishing compositions]. *Voennyy inzhener*, 2017, no. 2(4). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-problem-povysheniya-effektivnosti-teploperenosa-v-sozdanii-novyh-ognetushashchih-sostavov> (accessed: 15.03.2023).

5. Юркина, В. А. Анализ эффективности жидкофазных огнетушащих составов на основе жидкого стекла / В. А. Юркина, И. И. Романцов // Экология и безопасность в техносфере : современные проблемы и пути решения : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – 2015. – Т. 2. – С. 342–344.

Yurkina, V. A., Romantsov, I. I. *Analiz effektivnosti zhidkofaznykh ognetushashchikh sostavov na osnove zhidkogo stekla* [Analysis of effectiveness of sodium silicate solute-based liquid phase fire-extinguishing compositions].

Ekologiya i bezopasnost v tekhnosfere : sovremennye problem i puti resheniya. Proceedings of the All-Russian young scientists, post-graduates and students scientific and practical conference, Yurga, November 5-6, 2015, in 2 volumes. Tomsk, TPU Press, vol. 2, pp. 342-344. (In Russian)

6. Селина, А. А. К вопросу применения огнетушащих составов на основе жидкого стекла при тушении лесного пожара / А. А. Селина, А. И. Сечин // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения академика К. И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина. – Томск : изд-во ТПУ, 2019. – Т. 1. – С. 630–632.

Selina, A. A., Sechin, A. I. (scientific ed.). *K voprosu primeneniya ognetchashchikh sostavov na osnove zhidkogo stekla pri tushenii lesnogo pozhara* [On the question of utilizing the sodium silicate solute-based fire-extinguishing compositions for extinguishing the forest fires]. *Problemy geologii i osvoeniya neдр.* The XXIII International M. A. Usov's symposium of students and young scientists dedicated to academician K. I. Satpaev's and professor K. V. Radugin's 120th anniversary in 2 volumes. Tomsk, TPU Press, 2019, vol. 1, pp. 630-632. (In Russian)

7. Анализ экологической перспективности огнетушащих составов на основе жидкого стекла / А. А. Селина, А. И. Сечин, И. И. Романцов, А. А. Сечин, Г. А. Лопатин // XII Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения». – Томск : изд-во ТПУ, 2019. – С. 321–323.

Selina, A. A., Sechin, A. I., Romantsov, I. I., Sechin, A. A., Lopatin, G. A. *Analiz ekologicheskoy perspektivnosti ognetchashchikh sostavov na osnove zhidkogo stekla* [Analysis of environmental sustainability of sodium silicate solute-based fire-extinguishing compositions]. *Sovremennye problemy mashinostroyeniya.* Proceedings of the XII International scientific and technical conference, Tomsk, October, 28 – November, 1, 2019, Tomsk, TPU Press, 2019, pp. 321-323. (In Russian)

8. Павлов, М. М. Жидкофазные огнетушащие составы на основе жидкого стекла / М. М. Павлов, А. И. Янц // Инновационная наука. – 2017. – № 8. – С. 28–29.

Pavlov, M. M., Yants, A. I. *Zhidkofaznye ognetchashchie sostavy na osnove zhidkogo stekla* [Sodium silicate solute-based liquid phase fire-extinguishing compositions]. *Innovatsionnaya nauka*, 2017, no. 8, pp. 28-29. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 10.10.2024
Дата опубликования 19.12.2024

Konstantin Nikolayevich Labinskiy, Dr. Sci. (Tech.), associate professor; e-mail: science.donntu@mail.ru
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Donetsk national technical university»
283001, Donetsk, 58, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (949) 303-61-83; +7 (949) 399-14-71
Maksim Konstantinovich Tomilov, engineer II cat.; 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

DETERMINATION OF FIRE EXTINGUISHING CAPACITY OF AQUEOUS SOLUTIONS MODIFIED BY INORGANIC COMPOUNDS

Objective. To experimentally establish the effect of flame retardants on increasing the extinguishing capacity of an aqueous solution of liquid sodium glass to select the most functional additive modifier.

Methods. Experimental method of determination of fire-suppressing capacity of water compounds in laboratory-scale conditions, correlation analysis and graphic method of experiment results presentation.

Results. The obtained graphical dependence of the effect of flame retardants on the extinguishing ability of an aqueous solution of liquid sodium glass made it possible to establish the most optimal flame retardant – potassium sulfate in an aqueous composition, which increases the extinguishing ability of an aqueous solution.

Scientific novelty. A graphical dependence of the effect of flame retardants on the extinguishing capacity of an aqueous solution of liquid sodium glass was obtained for the first time. The optimal content of flame retardants in the composition of aqueous solutions has been experimentally established.

Practical value. Using the results of the study, it is possible to choose the most functional additives-modifiers to water for effective fire extinguishing of class A (solid combustible materials) and B (flammable liquids).

Keywords: *fire retardants; water-soluble additives; composition formula; fire extinguishing ability; liquid glass; potassium sulfate; extinguishing class A and B fires.*

For citation: Labinskiy K. N., Tomilov M. K. Determination of fire extinguishing capacity of aqueous solutions modified by inorganic compounds. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 4(61), pp. 18-25. – EDN: JNIZTH.

УДК [614.8"363":544.723]:004.89

Сергей Александрович Булкин, аспирант, ст. преп.; e-mail: s.bulkin@agz.50.mchs.gov.ru;

Лилия Ринатовна Шарифуллина, канд. хим. наук, доцент, зав. кафедрой;

e-mail: l.sharifullina@agz.50.mchs.gov.ru

*Федеральное государственное бюджетное военное учреждение высшего образования
«Академия гражданской защиты МЧС России» им. генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика»
141435, Московская область, г. Химки, ул. Соколовская, стр. 1А. Тел.: +7 (498) 699-06-32*

Сергей Александрович Гузенков, канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотр.;

e-mail: evgeniiaguzenkova05@gmail.com

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

*Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук
119071, Москва, Ленинский проспект, д. 33. Тел.: +7 (495) 954-55-34*

ВЫБОР СОРБЕНТОВ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕРАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ И КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Цель. Установить применимость генеративных моделей в сравнении с классическими методами линейного программирования для решения оптимизационной задачи выбора сорбента при ликвидации чрезвычайной ситуации, вызванной разливом химически опасных веществ.

Методы. Экспериментальное исследование процессов сорбции активированным углем хлорсодержащих органических соединений. Метод математической оптимизации на основе линейного программирования. Метод машинного обучения на основе искусственного интеллекта.

Результаты. Исследование современных методов обучения генеративных моделей и возможности их использования в решении задач по ликвидации последствий разлива химически опасных соединений позволило установить основные недостатки и лимитирующие факторы применения искусственного интеллекта в решении оптимизационной задачи по выбору сорбента. Определен алгоритм решения задачи оптимизации применения сорбентов при ликвидации чрезвычайных ситуаций, вызванных разливом токсичных веществ.

Научная новизна. Впервые решена задача выбора сорбента для ликвидации последствий разлива хлорсодержащих органических соединений с помощью методов машинного обучения.

Практическая значимость. Сходимость полученных результатов свидетельствует о возможности определения изученными методами рационального способа проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в зоне разлива токсичного вещества.

Ключевые слова: генеративная модель; машинное обучение; линейное программирование; математическая оптимизация; сорбция; сорбенты; ликвидация последствий чрезвычайной ситуации; разлив химически опасных веществ.

Для цитирования: Булкин С. А., Шарифуллина Л. Р., Гузенков С. А. Выбор сорбентов для ликвидации разливов токсичных веществ с помощью генеративных моделей и классических методов математической оптимизации // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 4(61). – С. 26–36. EDN: JXJOPF.

Постановка проблемы. При ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера, связанных с разливом или выбросом опасных химических веществ, зачастую нет стандартных общих рекомендаций, так как при выборе мероприятий проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ необходимо учитывать физико-химические или химические свойства токсичных соединений. Актуальность темы заключается в необходимости выбора сорбента

с рациональными параметрами для ликвидации разлива токсичных хлорсодержащих соединений.

Выбор оптимального способа ликвидации последствий чрезвычайной ситуации в современных условиях может быть осуществлен инструментами математического моделирования либо методами искусственного интеллекта. Математическое моделирование реализуется через математическую модель объекта, которая учитывает влияние отдельных факторов на целевую функцию. Для создания математической модели необходимо иметь определенный набор инструментов и практических данных. Основным недостатком этой технологии является невозможность учесть все параметры, так или иначе влияющие на результат, поэтому зачастую на практике в модель вводятся поправочные коэффициенты. В настоящее время наблюдается рост интереса к генеративному искусственному интеллекту, с помощью которого можно анализировать данные о чрезвычайных ситуациях с целью прогнозирования их возникновения либо выбора способа ликвидации их последствий. Однако практики применения методов машинного обучения в решении задач защиты населения и территорий от последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера, связанных с разливом токсичных веществ, в настоящее время недостаточно в связи с малым количеством статистических данных.

Анализ последних исследований и публикаций. Технология математической оптимизации в решении задач защиты населения и территорий от последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера применяется уже на протяжении нескольких десятилетий. Обзор методов математического моделирования для анализа чрезвычайных ситуаций представлен в работе [1]. Внедрение новых методов искусственного интеллекта (далее – ИИ), одним из которых является машинное обучение, может позволить своевременно и эффективно реализовывать мероприятия по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Применение ИИ в сфере информационного сопровождения чрезвычайных ситуаций рассмотрено в работе [2].

В ряде научных работ возникновение чрезвычайной ситуации рассматривают через призму анализа причин, ее повлекших. Проведение такого анализа с помощью нейронных сетей позволяет прогнозировать вероятность наступления события и находить оптимальный метод ликвидации последствий возможной чрезвычайной ситуации [3]. Известные архитектуры нейронных сетей для решения задач обеспечения безопасности при достаточном объеме данных и переобучении способны с высокой точностью прогнозировать поведение исследуемого объекта [4].

После публикации статьи [5] произошла «революция» в подходе к использованию генеративных моделей для решения задач прогнозирования, когда одна модель или группа моделей способны решать условно любую задачу на текущем этапе лучше, чем человек. Генеративные модели на основе ИИ используют давно известные математические и статистические методы, но есть кардинальное отличие – способность решать задачи без кодирования алгоритма решения в явном виде, т. е. методы обработки данных используют не как частные инструменты решения специальных задач, а именно как общие методы обработки информации. Модель, содержащая значительное количество параметров при одновременной малой загрузке данных, будет обладать меньшей

эффективностью по сравнению с моделью с малым количеством параметров при значительной загрузке данных. В случае большого числа параметров при малом количестве степеней свободы эффективность работы модели резко снижается. Данное обстоятельство инициирует в последние годы работы по увеличению объема загрузки данных с целью улучшения работоспособности модели. Так, машинное обучение с вышеперечисленными технологиями анализа больших данных для прогнозирования опасных событий успешно применено на железнодорожном транспорте [6].

Еще один пример использования генеративных моделей – компьютерное зрение от Neurocore, которое на основе предварительно обученных генеративных моделей может распознать процессы горения. Модели работают, непрерывно обрабатывая видеосигнал, и в случае возгорания оповещают пожарные службы с точной привязкой к месту.

Задача выбора сорбента, наиболее подходящего по своим параметрам для использования в месте разлива опасных хлорсодержащих соединений, ранее решалась экспериментальным путем [7]. Выбор сорбента осуществлялся с учетом возможности достижения безопасных значений концентрации токсичного вещества за заданное время.

Цель работы – установление применимости генеративных моделей в сравнении с классическими методами линейного программирования для решения оптимизационной задачи выбора сорбента при ликвидации чрезвычайной ситуации, вызванной разливом хлорсодержащих токсичных веществ.

Задачи исследования: на основе имеющейся экспериментальной базы данных по применению различных видов сорбентов для ликвидации чрезвычайной ситуации при разливе химически опасных соединений сравнить решение оптимизационной задачи выбора сорбента:

- с помощью классических методов линейного программирования, используя общедоступные вычислительные ресурсы, например MS Excel;
- с использованием нейросетей.

Результаты исследований. Рассмотрим решение многокритериальной задачи классическим методом линейного программирования (задача – выбор сорбента для засыпки разлива опасного химического вещества).

Параметрами способа засыпки сорбентами выбраны: марка сорбента; его физико-химические свойства; масса сорбента, необходимая для достижения безопасной концентрации химического соединения; количество разлитого токсичного вещества; скорость сорбции; финансовые ресурсы. Вербальная постановка задачи заключается в обосновании выбора сорбента для ликвидации разлива способом засыпки, обеспечивающим достижение безопасного значения концентрации токсичного вещества с учетом принятых ограничений и допущений.

В соответствии с директивой ДНГО от 04.12.1990 № 3 «О совершенствовании защиты населения от сильнодействующих ядовитых веществ и классификации административно-территориальных единиц и объектов народного хозяйства по химической опасности» расход сорбента определяют в соотношении 3-4 т сорбента на 1 т аварийно химически опасных веществ, при этом высота слоя сорбента должна составлять не менее 15 см. В работе [8] показано, что эффективно происходит работа только слоя сорбента, погруженного в жидкость (при свободном разливе высота слоя жидкости принимается равной 5 см),

тем самым осуществляется перерасход сыпучего материала и неполная его отработка. Также отмечено влияние соотношения массы сорбента к объему жидкой фазы. Рассчитанное значение степени извлечения указывало на целесообразность использования необходимого отношения массы сорбента к объему раствора для достижения требуемой степени извлечения.

Решение оптимизационной задачи представляет собой нахождение булевых переменных, принимаемых марками сорбента, которые могут быть использованы при ликвидации разлива. Максимальное значение булевой функции соответствует общему числу марок сорбентов. Минимальное значение булевой функции выбора сорбента в условиях ограничений позволит определить рациональные параметры сорбента.

По имеющемуся n числу марок сорбентов была получена таблица характеристик значений (a_{ij}) по параметрам j_m , где m изменяется в пределах от 1 до 4, значения которых соответствуют параметрам марки сорбента: 1 – масса i -й марки сорбента для засыпки; 2 – стоимость 1 единицы массы i -й марки сорбента; 3 – стоимость заданной массы i -й марки сорбента; 4 – скорость сорбции i -й марки сорбента. В таблице приводятся значения характеристик по каждой марке сорбента, которые соответствуют кодированным номерам.

Таблица

Характеристики кодированных марок сорбентов

Код марки	j_1	j_2	j_3	j_4
1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}
2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}
...	...	...	...	...
n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	a_{n4}

Ограничения на параметры сорбентов выбираются по граничным условиям проведения силами РСЧС аварийно-спасательных и других неотложных работ при возникновении чрезвычайной ситуации. Данные ограничения представлены следующими формулами:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1; \sum_{i=1}^n a_{i1} x_i \leq A_1; \sum_{i=1}^n a_{i2} x_i \leq A_2;$$

$$\sum_{i=1}^n a_{i3} x_i \leq A_3; \sum_{i=1}^n a_{i4} x_i \geq A_4,$$

где x_i – переменная i -й марки сорбента, принимающие значение $\{0,1\}$, $i = \overline{1,n}$;

a_{i1} – масса i -й марки сорбента;

a_{i2} – стоимости 1 ед. массы i -й марки сорбента;

a_{i3} – стоимость заданной массы i -й марки сорбента;

a_{i4} – скорость сорбции i -й марки сорбента;

A_1 – максимальное количество массы i -й марки сорбента;

A_2 – максимальная стоимость 1 ед. массы i -й марки сорбента;

A_3 – размер финансовых ресурсов, выделяемых субъектом на ликвидации разлива;

A_4 – заданное значение скорость сорбции сорбента для обеспечения безопасного значения концентрации токсичного вещества.

Значения величин ограничений используют из рассмотрения конкретной чрезвычайной ситуации с разливом аварийно химически опасных веществ по имеющимся исходным данным.

Способ засыпки разлива сорбентом предполагает использование такой марки, которая в условиях ограничений будет обладать рациональными значениями вышеуказанных параметров. Комплекс свойств каждой марки сорбента при решении задачи выбора будет соответствовать значению из булева множества $\{0,1\}$.

Решение оптимизационной многокритериальной задачи основано на задаче целочисленного линейного программирования. Данный метод позволяет определить экстремум функции при минимальном числе итераций.

В результате расчетов с построением симплекс-таблиц по методу Гаусса – Жордана найдено приближенное решение задачи. Опорный план был проверен на оптимальность решения по методу Гомори. Результатом решения является вектор значений $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$: 0 будет содержаться у марок сорбентов, которые не применяются к засыпке, и 1 – у марки сорбента, обладающего рациональными параметрами, позволяющими обеспечить безопасное значение концентрации разлитого токсичного вещества. Задача решена с помощью таблиц MS Excel.

Рассмотрим использование нейросети для решения оптимизационной задачи. Нейронные сети, с их способностью извлекать смысл из сложных или неточных данных, могут быть применены для извлечения паттернов и обнаружения тенденций, которые слишком сложны, чтобы быть замеченными людьми или другими компьютерными методами. Обученная нейросеть может рассматриваться как «эксперт» в категории информации, предоставленной для анализа. Затем этот «эксперт» может быть использован для подготовки прогнозов с учетом новых интересных ситуаций и ответов на вопросы «что, если?...». В данной работе рассматривается нейронная сеть прямого распространения, также известная как многослойный перцептрон. Она является наиболее распространенным типом нейронных сетей в практических приложениях.

Для нахождения экстремума многопараметрической целевой функции используем нейронную сеть с дообучением, максимально согласующуюся с решением задачи классическими методами, применяя обучение нейронной сети с сигмоидной функцией активации. Пример работы простейшей нейронной сети показан на рис. 1.

Необходимо использовать преимущества нейросети, заключающиеся в том, что при добавлении внутренних слоев становится возможным усложнять и обобщать систему, причем этим качеством не обладает обычный алгоритм. Нейросеть можно реализовать различными способами: с помощью платформ языков программирования высокого уровня и с использованием различных генеративных моделей из открытого доступа. В нашей работе использовали нейронную сеть, воспроизводимую на языке программирования Python. Для работы импортировали библиотеку NumPy, задали входные параметры,

функцию активации, которую применили к нейронам скрытого и выходного слоя. В дальнейшем использовали метод predict – прямое распространение сигнала, запускающего нейронную сеть, и производили вычисления.

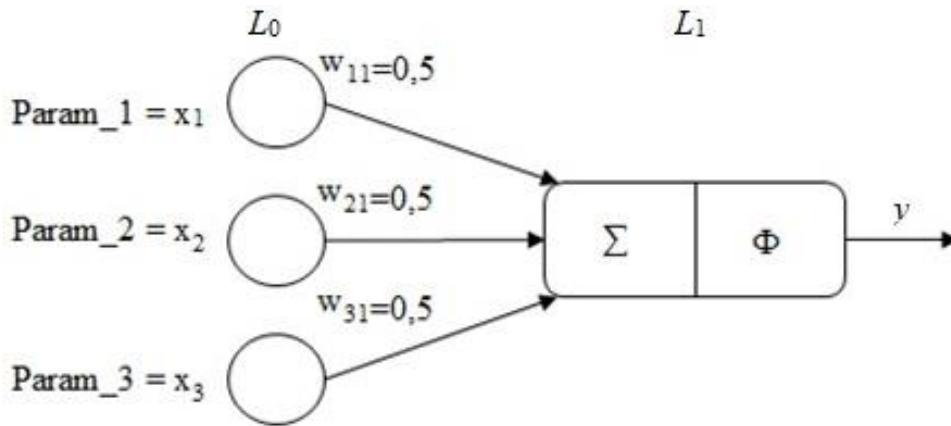


Рис. 1. Простая нейронная сеть

Целевая функция представлена следующим выражением:

$$F(x) = \Phi(x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_nw_n) = \Phi\left(\sum_{i=1}^n x_i w_i\right).$$

Для решения задачи оптимизации было произведено обучение нейронной сети методом обратного распространения ошибки, то есть постепенно подстраиваясь под реальную картину. Собственно обучение нейронной сети в данном случае – это процесс подбора весов, позволяющих нейронной сети решить поставленную задачу. При обучении нейронной сети методом обратного распространения ошибок к функции активации предъявляются требования непрерывности и дифференцирования [9]. В качестве функции активации применили сигмоидную функцию

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}},$$

которая сглаживает переход между двумя состояниями и монотонно переходит из состояния 1 в состояние 2, функция неразрывна, гладкая и дифференцируема на всем участке (рис. 2).

Рассмотрим последовательность произведенных действий. В первую очередь выставляем в произвольном порядке коэффициенты (веса) в нейронной сети от 0 до 1. Сеть уже может решать задачи, но не знает, как решать (рис. 3).

Производим вычисление на основании исходной выборки, в которой некоторые параметры активны, и на выходе получаем отрицательный ответ, далее начинаем обучение нейронной сети по методу обратного распространения ошибки, то есть значение весов вычисляем от выхода ко входу, передавая на каждом этапе ошибку. Следуя алгоритму вычисления этих ошибок, последовательно приближаемся к необходимому результату.

Оценим веса нейронов к скрытому слою и от скрытого слоя к выходному в случайно сгенерированном значении. К каждому вектору в матрице применяем сигмоидную функцию и далее применяем метод обратного распространения ошибки.

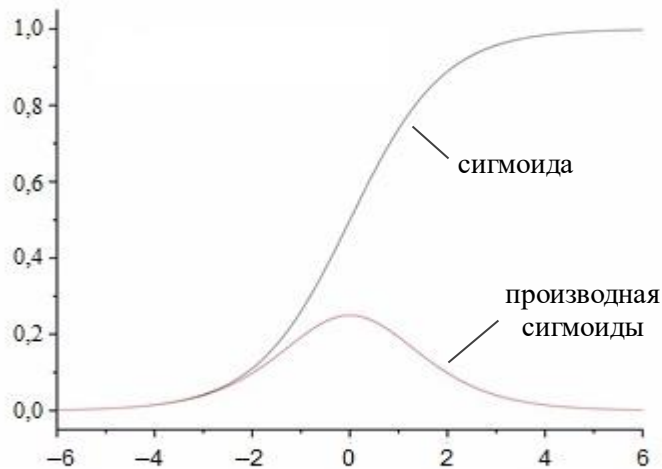


Рис. 2. Сигмоидная функция и ее производная

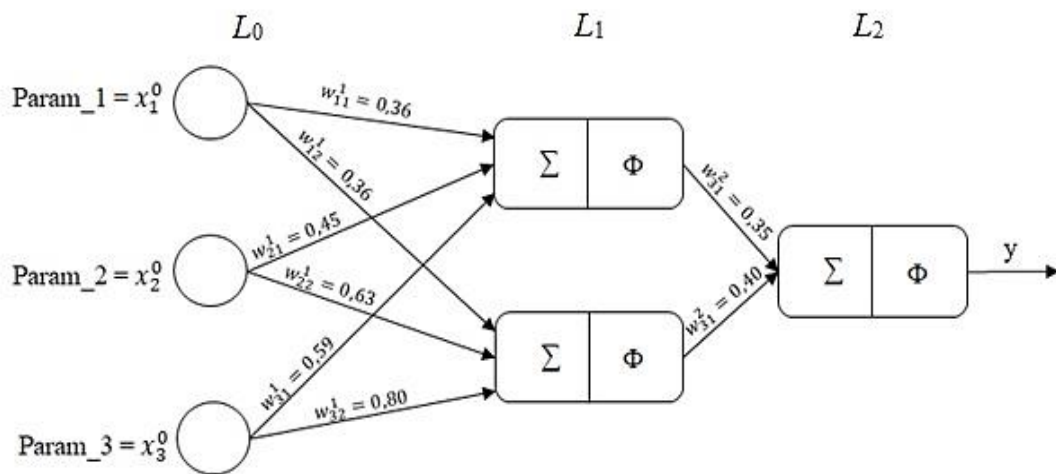


Рис. 3. Случайно сгенерированное распределение весов в нейронной сети

Качество обучения сети оцениваем по среднеквадратичному отклонению. В программном коде проводим тренировку сети и в конечном счете получаем значение ошибки от количества шагов. Целевая функция при этом для выбора конкретного сорбента принимает значение 1.

Проверку адекватности вывода результата на дообученной модели проводили при решении задачи выбора марки сорбента из пяти вариантов. Целевая функция выбора марки сорбента (x_i) стремится к минимальному значению. По каждой марке сорбента определяли характеристики, сводившиеся в таблицу. По заданным ограничениям рассчитывали опорный план выбора марки сорбента. Применив метод Гомори, было получено целочисленное значение марки сорбента. Целевая функция при этом имеет вид

$$F(x) = 1 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + 1 \cdot x_3 + 1 \cdot x_4 + 1 \cdot x_5 \rightarrow \min,$$

а выбор сорбента представлен функцией

$$F(x) = 1 \cdot 0 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0 = 1,$$

где 0 – отказ от выбора данных марок сорбентов;

1 – выбор марки сорбента к ликвидации разлива.

Как видно из уравнения

$$F_{\text{НС}}(x) = 1 \cdot 0 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0 = 1,$$

значение $F_{\text{НС}}(x)$, предсказанное дообученной на экспериментальных данных нейронной сетью, и результат, который выдан при классическом методе расчета, совпадают.

С одной стороны, следует отметить, что использование дообученной генеративной модели может и не дать ожидаемого результата при малом объеме исходных данных. Вероятность правильного прогноза тем выше, чем больше массив исходных данных. В нашем случае при небольшом объеме данных на входе получен положительный результат, что, скорее, является исключением. С другой стороны, при увеличении числа переменных вычисления классическими методами становятся неприемлемо трудоемкими, и время, затраченное на обработку, может различаться на порядки.

Выводы. Установлено, что дообученная генеративная модель, созданная на базе нейросети, точно и несравнимо быстрее предсказывает результат, довольно просто организуется с использованием библиотек NumPy. Получается, что нейросеть, дополненная с помощью библиотек, предсказывает решение, согласуемое с результатом, полученным на основе вычисления с помощью классических методов оптимизации целевых функций, однако данный факт сходимости можно расценить только как частный случай. Необходимо отметить, что при небольшом объеме базы данных с решением оптимизационной задачи успешно справляются классические методы линейного программирования.

При использовании нейронных сетей установлено, что существует неоднозначность решения, так как недостаточная величина базы исходных данных не позволяет утверждать, что нейросеть сгенерирует оптимальный прогноз. Требуется дополнительные тренировки генеративной модели решения оптимизационной задачи выбора сорбента, с учетом пополняющейся базы экспериментальных данных.

Список литературы / References

1. Носков, С. И. Применение методов математического моделирования для анализа чрезвычайных ситуаций / С. И. Носков, Ю. А. Бычков // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. – 2021. – № 2(10). – С. 13–24.

Noskov, S. I., Bychkov, Yu. A. *Primenenie metodov matematicheskogo modelirovaniya dlya analiza chrezvychaynykh situatsiy* [Application of mathematical

modeling methods for the analysis of emergency situations]. *Information technologies and mathematical modeling in the management of complex systems*, 2021, no. 2(10), pp. 13-24. (In Russian)

2. Чернов, К. А. Искусственный интеллект в сфере информационного сопровождения чрезвычайных ситуаций (обзор литературы) / К. А. Чернов // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2022. – № 3. – С. 111–121.

Chernov, K. A. *Iskusstvennyy intellekt v sfere informacionnogo soprovozhdeniya chrezvychaynykh situatsiy (obzor literatury)* [Artificial intelligence in the field of information support of emergency situations (literature review)]. *Biomedical and socio-psychological problems of safety in emergency situations*. 2022, no. 3, pp. 111-121. (In Russian)

3. Виноградов, О. В. Аспекты применения нейронных сетей для прогнозирования чрезвычайных ситуаций / О. В. Виноградов, О. А. Морозова // Технологии гражданской безопасности. – 2021. – Т. 18, № 1(67). – С. 23–26. – DOI: 10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.4.23.

Vinogradov, O. V., Morozova, O. A. *Aspekty primeneniya neyronnykh setey dlya prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy* [Aspects of neural networks use for predicting emergency situations]. *Civil security technologies*, 2021, vol. 18, no. 1(67), pp. 23-26. – DOI: 10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.4.23. (In Russian)

4. Павлов, И. С. Применение искусственного интеллекта в современных системах безопасности / И. С. Павлов, Н. А. Косов // Научный аспект. – 2024. – Т. 32. – С. 4034–4038.

Pavlov, I. S., Kosov, N. A. *Primenenie iskusstvennogo intellekta v sovremennykh sistemakh bezopasnosti* [Application of artificial intelligence in modern security systems]. *Scientific aspect*, 2024, vol. 32, pp. 4034-4038. (In Russian)

5. Применение методов машинного обучения для прогнозирования опасных отказов объектов железнодорожного пути / И. Б. Шубинский, А. М. Замышляев, О. Б. Проневич, А. Н. Игнатов, Е. Н. Платонов // Надежность. – 2020. – № 20(2). – С. 43–53.

Shubinsky, I. B., Zamyshliaev, A. M., Pronevich, O. B., Ignatov, A. N., Platonov, E. N. *Primenenie metodov mashinnogo obucheniya dlya prognozirovaniya opasnykh otkazov ob'ektov zheleznodorozhnogo puti* [Application of machine learning methods for predicting hazardous failures of railway track assets]. *Reliability*, 2020, no. 20(2), pp. 43-53. (In Russian)

6. Зубцов, Д. Как искусственный интеллект сделает нашу жизнь проще, безопаснее и экологичнее / Д. Зубцов. [Электронный ресурс]. – URL: <https://sberuniversity.ru/sber-knowledge/research/ii-tekhnologii-kotorye-izmenyat-nashu-zhizn-v-blizhayshie-gody/> (дата обращения: 22.01.2024).

Zubtsov, D. *Kak iskusstvennyy intellekt sdelaet nashu zhizn proshche, bezopasnee i ekologichnee* [How artificial intelligence will make our lives easier, safer and more environmentally friendly]. Available at: <https://sberuniversity.ru/sber-knowledge/research/ii-tekhnologii-kotorye-izmenyat-nashu-zhizn-v-blizhayshie-gody/> (accessed 01/22/2024). (In Russian)

7. Булкин, С. А. Обоснование выбора рациональных параметров сорбционных материалов, применяемых при ликвидации разливов хлорсодержащих веществ /

С. А. Булкин, Л. Р. Шарифуллина, С. А. Гузенков // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 1(56). – С. 54–64.

Bulkin, S. A., Sharifullina, L. R., Guzenkov, S. A. *Obosnovanie vybora ratsional'nykh parametrov sorbtsionnykh materialov, primenyaemykh pri likvidatsii razlivov khlorsoderzhashchikh veshchestv* [Substantiation of the choice of rational parameters of sorption materials used in the elimination of spills of chlorine-containing substances]. *Scientific and educational problems of civil protection*, 2023, no. 1(56), pp. 54-64. (In Russian)

8. Веденяпина, М. Д. Адсорбция салициловой кислоты на сибуните / М. Д. Веденяпина, А. К. Ракишев, Д. Е. Цаплин // Химия твердого топлива. – 2018. – № 3. – С. 41–46. – DOI: 10.7868/S0023117718030064.

Vedenyapina, M. D., Rakishev, A. K., Tsaplin, D. E. *Adsorbtsiya salitsilovoy kisloty na sibunite* [Adsorption of salicylic acid on sibunite]. *Chemistry of solid fuels*, 2018, no. 3, pp. 41-46. – DOI: 10.7868/S0023117718030064. (In Russian)

9. Воронов, К. Е. Применение нейронной сети прямого распространения для локализации места удара микрочастиц о поверхность космического аппарата / К. Е. Воронов, Д. П. Григорьев, А. М. Телегин // Труды МАИ. – 2021. – № 118. – DOI: 10.34759/trd-2021-118-10.

Voronov, K. E., Grigoriev, D. P., Telegin, A. M. *Primenenie neyronnoy seti pryamogo rasprostraneniya dlya lokalizatsii mesta udara mikrochastits o poverkhnost kosmicheskogo apparata* [Application of a direct propagation neural network for localization of the impact site of microparticles on the surface of a spacecraft]. *Proceedings of MAI*, 2021, no. 118. – DOI: 10.34759/trd-2021-118-10. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 23.09.2024
Дата опубликования 19.12.2024

Sergey Alexandrovich Bulkin, assistant professor, senior lecturer; e-mail: s.bulkin@agz.50.mchs.gov.ru;

Lilia Rinatovna Sharifullina, Ph.D. (Chemical Sci.), assistant professor, head of the department; e-mail: l.sharifullina@agz.50.mchs.gov.ru

Federal State Budget Military Institution of Higher Education “The Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia named after Lieutenant General D. I. Mikhailik”

141435, Moscow region, Khimki, 1A, ulitsa Sokolovskaya. Phone: +7 (498) 699-06-32

Sergey Alexandrovich Guzenkov, Ph.D. (Technical Sci.), associate professor, senior scientific associate; e-mail: evgeniaguzenkova05@gmail.com

Federal State Budgetary Institution of Science A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences

119071, Moscow, 33, Leninsky prospekt. Phone: +7 (495) 954-55-34

SELECTION OF SORBENTS FOR THE ELIMINATION OF TOXIC SUBSTANCES SPILLS USING GENERATIVE MODELS AND CLASSICAL METHODS OF MATHEMATICAL OPTIMIZATION

Objective. To establish the applicability of generative models in comparison with classical linear programming methods for solving the optimization problem of selecting a sorbent in the liquidation of an emergency caused by a spill of chemically hazardous substances.

Methods. An experimental study of the sorption processes of chlorine-containing organic compounds with activated carbon. A method of mathematical optimization based on linear programming. A machine learning method based on artificial intelligence.

Results. The analysis of modern methods of teaching generative models and the possibility of their application in solving problems of eliminating the consequences of a spill of chemically dangerous compounds is carried out. The main disadvantages and limiting factors of the use of artificial intelligence in solving the optimization problem of choosing a sorbent are identified. An algorithm for solving the problem of optimizing the use of sorbents in emergency response caused by a spill of toxic substances is considered.

Scientific novelty. For the first time, the problem of selecting a sorbent to eliminate the consequences of a spill of chlorine-containing organic compounds was solved using machine learning methods.

Practical value. The convergence of the results obtained indicates the possibility of using the studied methods to determine a rational way to carry out emergency rescue and other urgent work in the area of a toxic substance spill.

Keywords: *generative model; machine learning; linear programming; mathematical optimization; sorption; sorbents; emergency response; spill of chemically hazardous substances.*

For citation. Bulkin S. A., Sharifullina L. R., Guzenkov S. A. Selection of sorbents for the elimination of toxic substances spills using generative models and classical methods of mathematical optimization. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 4(61), pp. 26-36. EDN: JXJOPF.

УДК [614.841.2.001.5:665.72/.75]:543.544.943.3

*Виктория Валентиновна Лебедева, нач. отд.; e-mail: v.lebedeva@80.mchs.gov.ru;
Олег Владимирович Храпоненко, науч. сотр.; e-mail: o.hraponenko@80.mchs.gov.ru;
Оксана Николаевна Щербакова, инж. I кат.; e-mail: astra-jasmine@mail.ru
Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респирактор» МЧС России»
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-55*

ПОДВИЖНАЯ ФАЗА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ МЕТОДОМ ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Цель. Разработать подвижную фазу для селективного разделения и идентификации бензина, керосина, дизельного топлива в пробах, отобранных с места пожара.

Методы. Экспериментальные исследования с использованием метода тонкослойной хроматографии, сравнительный анализ.

Результаты. Из разработанных составов подвижной фазы определен оптимальный, имеющий селективность по отношению к бензину, керосину и дизельному топливу. Проведена оптимизация подвижной фазы влияющих на разделение компонентов нефтепродуктов, что позволило установить критерии и идентифицировать хроматограммы исследуемых веществ.

Научная новизна. Определен новый оптимальный компонентный состав подвижной фазы, позволяющий идентифицировать тип нефтепродуктов и повысить достоверность полученных результатов.

Практическая значимость. Полученный состав подвижной фазы был использован при разработке методики, которая позволяет оперативно с высокой достоверностью обнаруживать наличие бензина, керосина, дизельного топлива в пробах с места пожара при проведении пожарно-технических исследований. Получены хроматограммы бензина, керосина, дизельного топлива с использованием подвижной фазы изеооктан-толуол-этилацетат.

Ключевые слова: инициатор горения; бензин, керосин; дизельное топливо; жидкая подвижная фаза; хроматографическая пластина; относительная подвижность пятен.

Для цитирования: Лебедева В. В., Храпоненко О. В., Щербакова О. Н. Подвижная фаза для идентификации нефтепродуктов методом тонкослойной хроматографии // Научный вестник НИИ «Респирактор». – 2024. – № 4(61). – С. 37–43. – EDN: KDPYAC.

Постановка проблемы. Анализ обстановки с пожарами и причинами их возникновения в Российской Федерации за шесть месяцев 2023 г. показал, что с поджогами было связано 6999 пожаров (3,49 % от основных причин пожаров). Следует отметить, что официальная статистика, как правило, фиксирует только установленные поджоги, то есть случаи совершенно очевидные, не требующие проведения специальных экспертных исследований. Однако сегодняшние реалии, связанные с участвовавшими случаями терроризма, различного рода диверсиями на транспорте и производственных объектах, требуют совершенствования методических подходов к исследованию пожаров, связанных с поджогами.

В качестве инициатора горения злоумышленники используют наиболее доступные населению светлые нефтепродукты, такие как бензин, керосин, дизельное топливо, а также их смеси. В связи с этим обнаружение и идентификация светлых нефтепродуктов, одних из распространенных средств поджога, для расследования причин возникновения пожара – актуальная научная и практическая задача. Выбор методов исследований зависит от характера поставленных вопросов и представленных объектов. Метод тонкослойной

хроматографии (далее – ТСХ) чаще всего применяют при необходимости получения предварительных данных для выбора оптимального аналитического метода дальнейших исследований или для проведения экспресс-анализа при необходимости оперативного определения состава пробы с места пожара.

Метод ТСХ отличается простотой техники работы, низкой стоимостью и доступностью оборудования, экспрессностью, экономичностью, уступая методу газовой хроматографии в отношении предела обнаружения [1–3].

Получение достоверных результатов наличия инициаторов горения в пробах, отобранных с места пожара, невозможно без применения селективной и эффективной подвижной фазы, поэтому основное внимание исследований было сосредоточено на разработке состава подвижной фазы для метода ТСХ.

Анализ последних исследований и публикаций. Для разделения смесей используют пластины с незакрепленным слоем γ -оксида алюминия [4, 5] и готовые заводские пластины на основе силикагеля марки «Силуфол» [6]. В качестве подвижных фаз на оксиде алюминия применяют смесь, состоящую из петролейного эфира (или гексана), четыреххлористого углерода и уксусной кислоты (соотношение – 70 : 30 : 2). На «Силуфоле» применяют подвижные фазы в виде смесей: октан-бензол (соотношение 5 : 1) или октан-толуол (соотношение 5 : 1). Расстояние от финиша до старта принимается равным стандартному – 100 мм.

Согласно исследованиям [4] при хроматографировании на пластинах «Силуфол» в подвижной фазе октан-бензол в соотношении 5 : 1 разделение нефтепродуктов происходит на зоны насыщенных углеводородов парафинового и нафтенового рядов с относительной подвижностью $R_f = 0,7 \dots 0,9$, а также на зоны ароматических и гибридных углеводородов с $R_f = 0,1 \dots 0,5$.

В изученных литературных источниках описана возможность разделения бензина, керосина и дизельного топлива с использованием метода ТСХ только групповым способом. Поэтому имеется возможность достоверно установить наличие в пробах только бензина или керосина и (или) дизельного топлива. Характеристики двух последних жидкостей настолько близки, что для их достоверной идентификации приходится использовать дополнительные методы анализа.

Цель работы – разработать подвижную фазу, которая позволит селективно разделять и идентифицировать бензин, керосин, дизельное топливо в пробах с места пожара.

Метод исследования. Метод ТСХ основан на селективном разделении многокомпонентных смесей вследствие их различной растворимости в подвижной фазе, различной сорбируемости при движении вдоль слоя сорбента в потоке подвижной фазы и последующем проявлении полученных хроматограмм химическим способом. В ТСХ для разделения веществ используют хроматографическую пластину как основу или подложку, на которую нанесен тонкий слой сорбента.

В отличие от газовой хроматографии, ТСХ характеризуется наличием подвижной фазы в жидком состоянии и относится к разновидности жидкостной хроматографии. В качестве подвижной фазы используют один тип растворителя или составы, состоящие из смеси нескольких растворителей.

Характерная отличительная черта ТСХ – разделение веществ в тонком слое сорбента, расположенном в одной плоскости или на подложке [6].

В общем виде алгоритм разделения методом ТСХ (на примере адсорбционной ТСХ) заключается в следующем: исследуемое вещество в растворенном состоянии (после смыва с объекта исследования и упаривания до нужного объема) помещают на поверхность сорбента в точку на линии старта. После испарения растворителя до исчезновения следов мокрого пятна хроматографическую пластину с нанесенной пробой и пробой вещества сравнения помещают в хроматографическую камеру под углом около 75° , на дно которой за 60 мин до начала хроматографирования для насыщения камеры наливают подвижную фазу. Подвижная фаза снизу под действием капиллярных сил поднимается по пластине вверх до линии финиша и с разной скоростью переносит компоненты исследуемого вещества и вещества сравнения. После достижения линии финиша пластину вынимают и высушивают, после чего проводят идентификацию веществ. Принцип разделения смесей методом ТСХ аналогичен газовой хроматографии – неодинаковое сродство разделяемых компонентов смеси к подвижной фазе и стационарному сорбенту.

Изложение основного материала и полученные научные результаты.

В методе ТСХ в качестве подвижной фазы – элюента – используют чистые вещества (этилацетат, бензол и др.) либо смеси веществ (системы) в определенном соотношении. Растворители, имеющие высокую температуру кипения, не применяют в ТСХ, т. к. они должны легко удаляться после проведения анализа.

Выполнение экспериментальных исследований проводили по двум направлениям:

- выбор селективной и эффективной подвижной фазы для разделения бензина, керосина, дизельного топлива;
- оптимизация состава выбранной подвижной фазы и хроматографических параметров, что позволит добиться селективного разделения бензина, керосина и дизельного топлива.

Селективность разделения зависит от многих факторов, варьируя которые можно подобрать оптимальные условия хроматографирования исследуемой смеси компонентов.

Исходя из химической природы разделяемых компонентов, необходимо выбрать подходящий компонентный состав растворителя (подвижную фазу) и соответствующий по природе сорбент.

Из доступных растворителей были отобраны в соответствии с треугольной диаграммой по Шталю и треугольником селективности по Снайдеру следующие:

- изооктан;
- петролейный эфир;
- гексан;
- этилацетат;
- хлороформ;
- толуол.

Результаты хроматографирования бензина, керосина и дизельного топлива этими элюентами представлены на рисунке.

Среди отличий, необходимых для идентификации нефтепродуктов, были выделены следующие:

- все три вещества всегда формируют верхние красно-коричневые пятна;

- у керосина всегда отсутствует пятно на старте (или рядом с ним при малых значениях подвижности R_f);
- керосин и дизельное топливо могут формировать верхние пятна в виде тора.

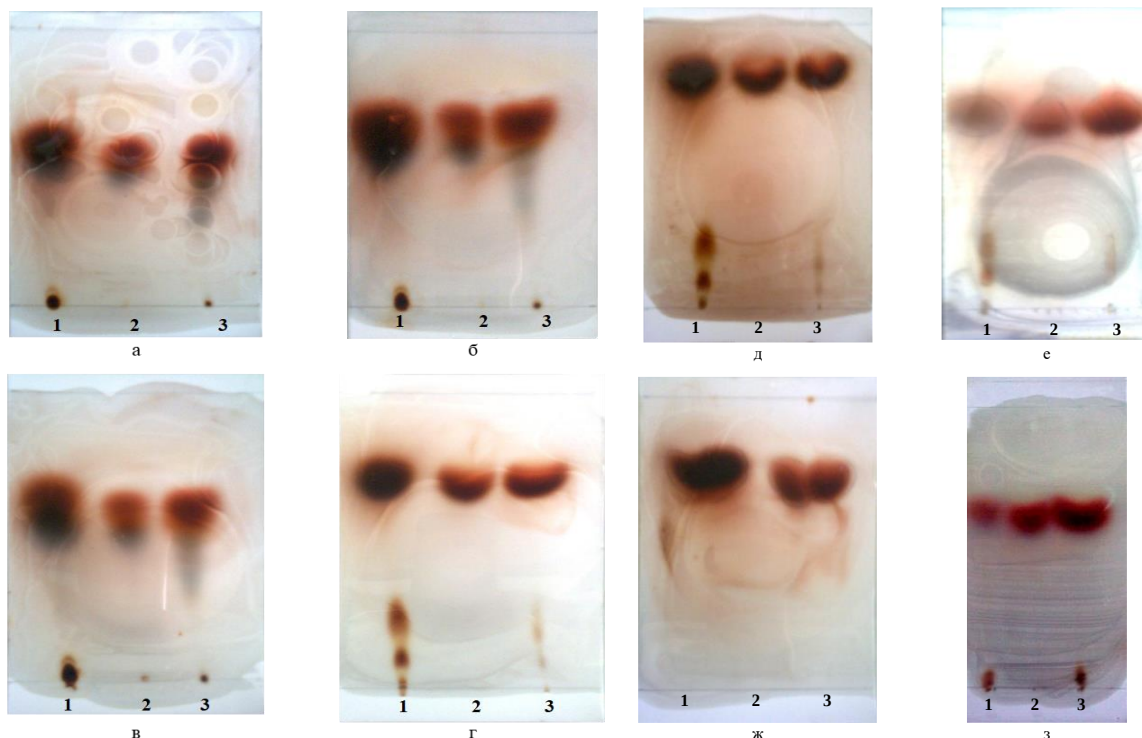


Рис. Хроматограммы разделения бензина, керосина, дизельного топлива в различных подвижных фазах:

1 – бензин; 2 – керосин; 3 – дизельное топливо;
 а – изоктан; б – петролейный эфир; в – гексан; г – бензол; д – толуол;
 е – хлороформ; ж – этилацетат; з – изоктан-толуол-этилацетат (10,0 : 3,5 : 0,1)

Ни одна из однокомпонентных подвижных фаз не обеспечивает формирование достаточно четких идентификационных признаков. Дающие характерные отличия толуол и бензол сильно снижают интенсивность окраски пятен с малым значением подвижности R_f , что резко снижает чувствительность метода, поэтому следующим этапом исследований стало изучение характерных особенностей трехкомпонентных подвижных фаз.

Первый компонент для подвижной фазы выбран из растворителей с низкой элюирующей силой для сохранения компактной формы пятен, останавливающихся вблизи старта (окрашенных менее интенсивно, чем верхние). Лучшие показатели для однокомпонентных подвижных фаз, состоящих из петролейного эфира, изоктана или гексана, характерны для изоктана. Он не размывает пятна на старте, сохраняет их окраску и имеет самое низкое значение подвижности R_f для верхних окрашенных пятен. В состав подвижной фазы он вошел в качестве основного базового компонента.

Второй модифицирующий компонент подвижной фазы выбран из бензола и толуола, как выявляющих характерную для керосина и дизельного топлива форму верхних пятен. В качестве растворителя применили толуол, как формирующий лучше выраженную в виде тора форму верхних пятен керосина

и дизельного топлива, и проведено хроматографирование проб трех изучаемых компонентов в подвижных фазах, состоящих из изookтана и толуола в соотношениях: 1 : 1; 5 : 1; 5 : 2 (10 : 4); 10 : 3,5. Наилучший результат был получен с использованием подвижной фазы, в которой соотношение компонентов составило 10 : 3,5.

В качестве третьего компонента подвижной фазы рассмотрены два растворителя – хлороформ и этилацетат, которые хорошо поднимают серо-голубые пятна компонентов горючих жидкостей до совмещения их с верхними красно-коричневыми пятнами. Этилацетат в соответствии с его положением в элюотропном ряду обладает большей элюирующей силой (рис. 1ж). Пятна со старта он поднимает практически до совмещения с верхними пятнами.

Поскольку назначение третьего компонента – локальные изменения элюирования отдельных пятен, он должен входить в состав подвижной фазы в небольшом количестве и не менять общую картину разделения, сформированную двумя другими компонентами. Мы остановили свой выбор на этилацетате. Кроме указанных выше особенностей этилацетат имеет более близкую к изookтану и толуолу температуру кипения, поэтому он должен формировать с ними более стабильную подвижную фазу.

Большие количества этилацетата, порядка 1...2 частей, приводили к уносу остающихся на старте пятен или их сильному размыванию и потере интенсивной окраски. Слишком малые количества растворителя – меньше 0,02 части от объема подвижной фазы, практически не оказывали никакого влияния на разделение компонентов. Исходя из этого, в качестве предварительной концентрации этилацетата выбрана концентрация, соответствующая его 0,1 части.

Основываясь на полученных результатах экспериментальных исследований, был установлен следующий состав оптимальной подвижной фазы для метода:

- изookтан – 10 частей;
- толуол – 3,5 части;
- этилацетат – 0,1 части.

Для повышения достоверности результатов анализа применена контрольная подвижная фаза, состоящая только из изookтана (однокомпонентная подвижная фаза).

Вывод. Разработана подвижная фаза для обнаружения и идентификации бензина, керосина и дизельного топлива во фрагментах с места пожара методом тонкослойной хроматографии и оптимизирован ее состав.

Установлено, что толуол, этилацетат и изookтан – селективные растворители по отношению к бензину, керосину и дизельному топливу. Оптимизация состава подвижной фазы позволила селективно разделять и отличать близкие по компонентному составу светлые нефтепродукты – бензин, керосин и дизельное топливо.

Список литературы / References

1. Физические и физико-химические методы анализа органических соединений (Проблемы аналитической химии. Том I) / ред. М. П. Волинец. – Москва : Наука, 1970. – С. 80–94.

Volynec, M. P., red. *Fizicheskie i fiziko-himicheskie metody analiza organicheskikh soedineniy (Problemy analiticheskoy khimii. Tom I)* [Physical and physico-chemical methods of analysis of organic compounds. (Problems of analytical chemistry. Vol. I)]. Moscow, Nauka Publ., 1970, pp. 80-94. (In Russian)

2. Козлитин, А. А. Методика обнаружения и идентификации нефтепродуктов по ароматическим углеводородам / А. А. Козлитин, В. В. Лебедева, О. Н. Щербакова // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 2(60). – С. 58–65.

Kozlitin, A. A., Lebedeva, V. V., Shcherbakova, O. N. *Metodika obnaruzheniya i identifikatsii nefteproduktov po aromaticeskim uglevodorodam* [Methods for detection and identification of petroleum products by aromatic hydrocarbons]. *Nauchnyy vestnik NII «Respirator»*, 2023, no. 2(60), pp. 58-65. (In Russian)

3. Козлитин, А. А. Обнаружение и идентификация остатков нефтепродуктов после пожаров / А. А. Козлитин, В. В. Лебедева // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2018. – № 3(55). – С. 68–73.

Kozlitin, A. A., Lebedeva V. V. *Obnaruzhenie i identifikatsiya ostatkov nefteproduktov posle pozharov* [Detection and identification of petroleum product residues after fires]. *Nauchnyy vestnik NIIGD «Respirator»*, 2018, no. 3(55), pp. 68-73. (In Russian)

4. Техническое обеспечение расследования поджогов, совершенных с применением инициаторов горения / И. Д. Чешко, М. А. Галишев, С. В. Шарапов, Н. Н. Кривых. – Москва : ВНИИПО, 2002. – 131 с.

Cheshko, I. D., Galishev, M. A., Sharapov S. V., Krivykh, N. N. *Tekhnicheskoe obespechenie rassledovaniya podzhogov, sovershennykh s primeneniem initsiatorov goreniya* [Technical support for the investigation of arson committed with the use of combustion initiators]. Moscow, VNIIPPO Publ., 2002, 131 p. (In Russian)

5. Митричев, В. С. Основы криминалистического исследования материалов, веществ и изделий из них / В. С. Митричев, В. Н. Хрусталева. – Москва : Мир, 2003. – 591 с.

Mitrichev, V. S., Hrustalev, V. N. *Osnovy kriminalisticheskogo issledovaniya materialov, veshchestv i izdeliy iz nikh* [Fundamentals of forensic examination of materials, substances and products made there from]. Moscow, Mir Publ., 2003, 591 p. (In Russian)

6. Яшин, Я. И. Основные тенденции развития хроматографии после 110-летия со дня ее открытия М. С. Цветом / Я. И. Яшин, А. Я. Яшин // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2014. – Т. 14, вып. 2. – С. 203–213.

Yashin, Ya. I., Yashin, A. Ya. *Osnovnye tendentsii razvitiya hromatografii posle 110-letiya so dnya ee otkrytiya M. S. Tsvetom* [Main trends in the development of chromatography after the 110th anniversary of its discovery by M. S. Cveta]. *Sorbtsionnye i hromatograficheskie protsessy*, 2014, vol. 14, issue 2, pp. 203-213. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым

Дата поступления рукописи 02.05.2024

Дата опубликования 19.12.2024

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

MOBILE PHASE FOR PETROLEUM PRODUCTS IDENTIFICATION BY THIN-LAYER CHROMATOGRAPHY METHOD

Objective. Develop a mobile phase allowing selective separation and identification of gasoline, kerosene, and diesel fuel in samples taken from the fire site after occurrence.

Methods. Experimental studies using the Thin-layer chromatography method; comparative analysis.

Results. From the developed compositions of the mobile phase, the optimal one has been selected, having selectivity with respect to gasoline, kerosene and diesel fuel. Optimization of the mobile phase affecting the separation of petroleum components was carried out, which made it possible to identify chromatograms of the studied substances. The criteria for the identification of gasoline, kerosene and diesel fuel have been established.

Scientific novelty. A new optimal component composition of the mobile phase has been selected, which allows determining the type of petroleum products and increase the reliability of the results obtained.

Practical value. The mobile phase resulting composition of the mobile phase was used in the technique development of a technique that allows you to quickly and with high reliability detect the presence of gasoline, kerosene, diesel fuel in samples taken from the fire site during fire-technical studies. Chromatograms of gasoline, kerosene, and diesel fuel were obtained using the mobile phase isooctane-toluene-ethyl acetate.

Keywords: combustion initiator; gasoline; kerosene; diesel fuel; liquid mobile phase; chromatographic plate; relative mobility of spots.

For citation. Lebedeva, V. V., Khraponenko, O. V., Shcherbakova, O. N. Mobile phase for petroleum products identification by thin-layer chromatography method. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, vol. 4(61), pp. 37-43. EDN: KDPYAC.

II. Безопасность труда

УДК [614.8-051:159.944.3]:612.821

Владимир Владимирович Черкесов, д-р мед. наук, профессор, ст. науч. сотр.;

e-mail: cherkesov.vv@gmail.com;

Александр Викторович Петров, канд. техн. наук, доцент; 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 2)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 – взаимоадаптации 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 2) // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 4(61). – С. 44–54. – EDN: LMXEBR.

Постановка проблемы. Одна из основных тенденций в развитии пожарной техники в России и в странах Европы – использование сложных систем электронных датчиков, индикаторов, органов управления, встроенных элементов бортовой диагностики. Фирмы-производители техники вынуждены организовывать курсы по обучению операторов, которым предстоит работать на таких машинах и обслуживать их.

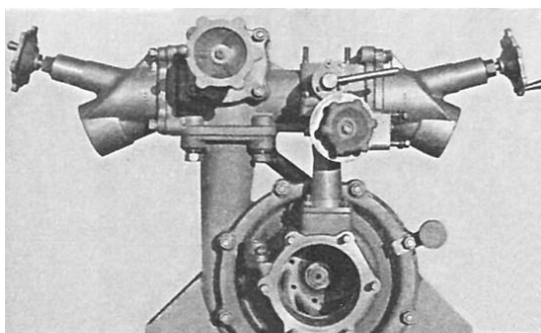
Цель работы – повысить эффективность аварийно-спасательных работ пожарных-спасателей МЧС с использованием современной аварийно-спасательной техники и с позиции максимальной адаптации элементов системы «человек – машина».

¹⁾ Окончание. Начало см.: № 3(61) 2024 г.

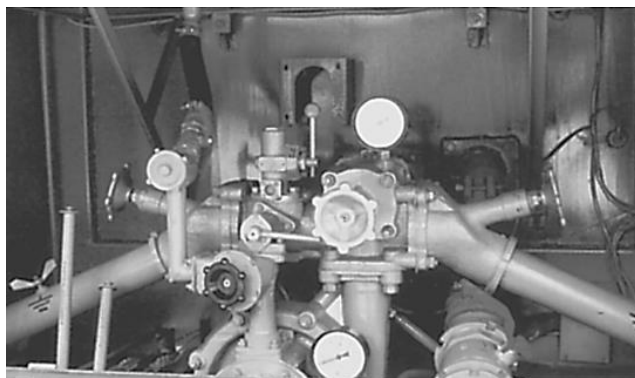
Изложение основного материала. В работе [1] рассмотрены различия между подходами к конструированию пожарных автомобилей в Европе и в США. В качестве отличительной черты европейского подхода выделено повышение степени автоматизации управления агрегатами и системами пожарных автомобилей, что в корне отличает их от американских пожарных автомобилей. Американские производители отказываются от концепции сверхсложных систем отнюдь не по соображениям технической неосуществимости. Они учитывают, что многие пожарные части США укомплектованы добровольцами, которые имеют хорошую пожарную подготовку, но не являются специалистами по управлению и обслуживанию сложных технических систем. Поэтому американские разработчики пожарных автомобилей делают упор на простоту, надежность и прочность пожарного оборудования и учитывают человеческий фактор, т. е. заранее, на стадии проектирования, закладывают в качестве исходных данных определенный уровень подготовки оператора пожарной техники. Данный пример показывает американскую специфику и является исключением, которое подчеркивает правило: технологический прогресс приводит к усложнению технических систем.

Для сравнения, на рис. 1, 2 и 3 приведены изображения насосных установок пожарных автоцистерн. Все три варианта конструкции на данный момент эксплуатируются в пожарно-спасательных частях. Очевидно, что органы управления насосом становятся более сложными, требуют специальной подготовки водителя пожарного автомобиля. Переход водителя с одной модели автоцистерны на другую не может быть выполнен за короткое время, так как недостаточно иметь общее представление о работе техники, важно наработать необходимые навыки.

На рис. 4 показано изображение пульта управления люлькой пожарного подъемника АПК-32¹, выпускаемого российской компанией «Ильберс». Использование данного оборудования требует от пожарного-спасателя специальных навыков.



а

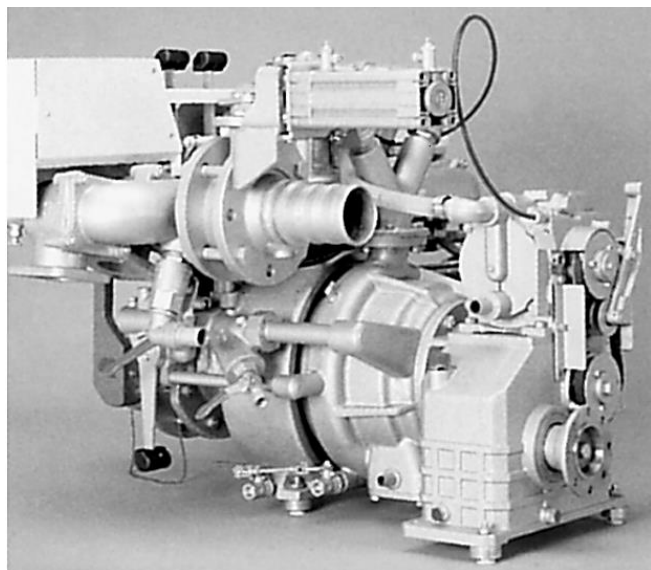


б

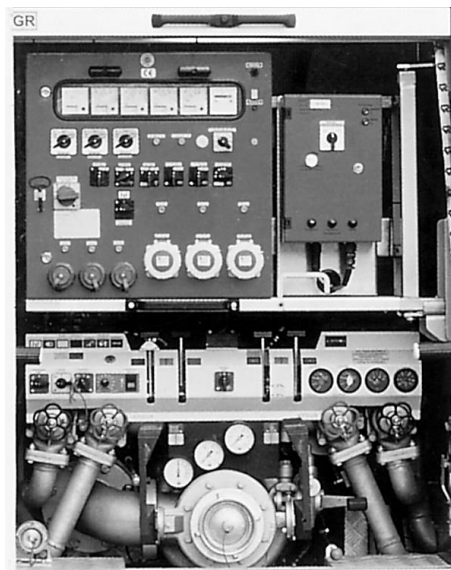
Рис. 1. Пожарный насос НЦПН-40/100 Варшагинского завода ППСО [2]:

а – общая компоновка насоса; б – насос в насосном отсеке АЦ

¹ АПК-32 подъемник пожарный коленчатый с лестницей. URL: <https://ilbers.ru/apk-32-pod-emnik-pozharnyj-kolenchatyj-s-lestnicej> (дата обращения: 25.06.2024).



а



б

Рис. 2. Комбинированный насос NH 30 (3000/100-400/400) фирмы Rosenbauer, Австрия [2]:
а – общая компоновка (вид со стороны привода);
б – пульт управления (в насосном отсеке)



Рис. 3. Насосный отсек пожарной автоцистерны АЦ-3,2-40/4(43253)²:
управление насосной установкой при помощи пульта с дисплеем

Современные условия все чаще требуют от сотрудников МЧС наличия навыков управления беспилотными летательными аппаратами. Однако даже для эксплуатации относительно простых квадрокоптеров необходимо освоить специфические органы управления. Общий вид пульта управления БПЛА Matrice 210 V2 производства компании DJI показан на рис. 5. Важно отметить большое количество подключаемых компонентов и настройку при помощи специальных приложений.

² Пожарная автоцистерна АЦ-3,2-40/4(43253) модель 001-МС. Руководство по эксплуатации 001-МС-00-000-00РЭ. Москва: ЗАО «ПО «Спецтехника пожаротушения», 2011. 162 с.



Рис. 4. Пульт управления в люльке пожарного коленчатого подъемника с лестницей АПК-32

При решении задач от проектирования до использования современной пожарной техники прежде всего следует учитывать проблемы взаимодействия анализаторных систем спасателя и действующих на него раздражителей. Один из феноменов, возникающих при взаимодействии перцептивных систем, – восприятие. Оно обеспечивает стабильность и константность наблюдаемого нами мира, представленного в виде субъективных образов. Восприятие – это отражение предметов и явлений в совокупности их свойств и частей при непосредственном воздействии на наши органы чувств. Восприятие обладает рядом свойств, определяющих его качественное своеобразие и отличие от других психических процессов – избирательность.

Из всего многообразия физических воздействий на органы чувств мы выделяем только некоторые из них, в зависимости от контекста, в котором реализуется восприятие: константность – постоянство воспринимаемой величины, формы и цвета предметов при изменении расстояния, ракурса, освещенности; осмысленность и обобщенность – каждый объект восприятия наделяется нами определенным смыслом и значением в зависимости от нашего опыта и ситуации восприятия. Отражение любого единичного случая как проявления общего составляет обобщенность восприятия. Это позволяет нам узнавать воспринимаемые объекты вне зависимости от степени их детализации и условий наблюдения.

Возникновение иллюзий у спасателя как оператора пожарной техники может привести к фатальным ошибкам при ведении аварийно-спасательных и других неотложных работ. Поэтому при проектировании сложных пожарных систем необходимо учитывать оптимальные условия для восприятия окружающего пространства, исключающие неадекватную интерпретацию информационной модели.

Уровень, на котором работает спасатель (далее – оператор) современной аварийно-спасательной техники, соответствует степени автоматизируемости процесса – от полного ручного управления (самый нижний уровень) до полного автоматического управления (верхний уровень).

В нормальной ситуации оператор находится на средних уровнях, система работает в полуавтоматическом режиме, при этом системой поддерживается нормальный уровень активности оператора.

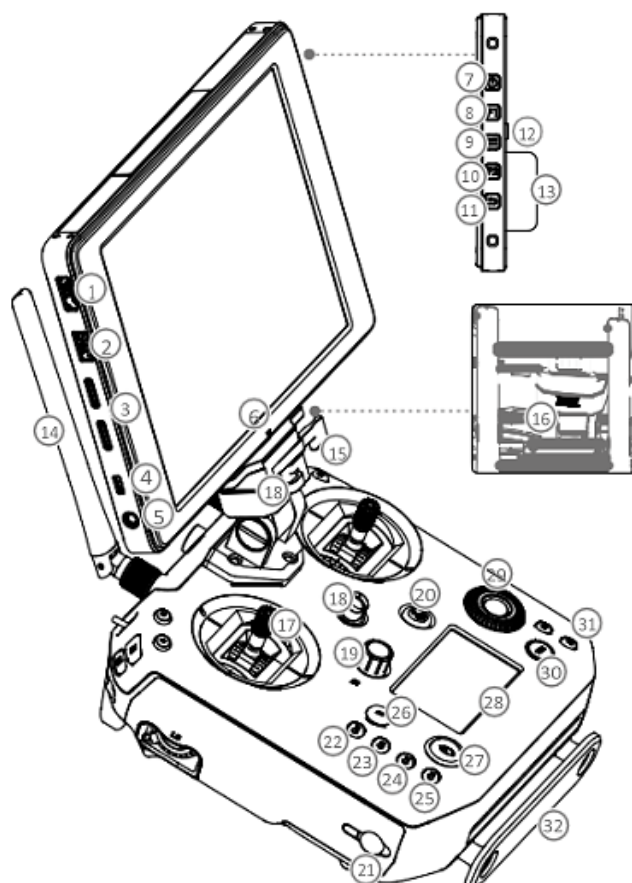


Рис. 5. Пульт управления БПЛА Matrice 210 V2 [3]:

1 – порт HDMI (вывод видеосигнала HDMI); 2 – порт USB; 3 – слот для карты microSD (предоставляет дополнительное место для хранения устройства отображения, максимальный размер карты составляет 128 ГБ); 4 – порт Micro USB (кабель Micro USB используется для подключения к пульту ДУ или к ПК для настройки параметров с помощью DJI Assistant 2); 5 – разъем для наушников; 6 – светочувствительный порт; 7 – кнопка питания; 8 – пользовательская кнопка (F1); 9 – кнопка настройки; 10 – пользовательская кнопка (F2); 11 – кнопка «Назад»; 12 – кнопка отсоединения аккумулятора; 13 – интеллектуальная батарея WB37; 14 – антенны; 15 – монтажный кронштейн монитора; 16 – USB-порт (зарезервированный порт); 17 – ручки управления ориентацией и движением БПЛА; 18 – крючок для ремня; 19 – ручка регулировки фокуса; 20 – кнопка возврата домой (RTH); 21 – порт питания; 22–25 – зарезервированные кнопки; 26 – кнопка паузы (при нажатии дрон затормозит и зависнет); 27 – кнопка питания (используется для включения и выключения пульта дистанционного управления); 28 – дисплей пульта дистанционного управления (показывает информацию о БПЛА и камере); 29 – диск настройки камеры; 30 – меню настроек настраиваемых кнопок; 31 – настраиваемые кнопки (VA-VH) (настраивается через приложение DJI Pilot); 32 – вспомогательное крепление

В нестандартной ситуации, требующей активного вмешательства оператора, человек опускается на нижние уровни, беря больше процессов на ручное управление. При этом когнитивная (психоэмоциональная) и физическая нагрузка оператора повышается, но он сам в состоянии регулировать величину нагрузки [4].

Современные системы способны контролировать степень нагрузки оператора, адаптивность и состояние его здоровья, психофункциональное состояние, и в случае неадекватного или неэффективного поведения система может (предложить) «отодвинуть» оператора на более верхний (адекватный нагрузке),

более общий уровень ручного управления. Например, при выходе оператора из строя система может «сдвинуть» роль оператора «на самый верх», т. е. перевести управление на полную автоматику (и, скажем, в случае аварии самостоятельно перейти в аварийный/безопасный режим функционирования).

Следует учитывать вероятность возникновения непредвиденных (экстремальных) ситуаций, что не позволяет полностью положиться на автоматику. С другой стороны, спасатель-оператор лучше ориентируется в сложных, нестандартных ситуациях, но может «споткнуться на ровном месте».

Возможности качественного, содержательного анализа ситуаций оператором определяются его профессиональным опытом, знаниями, умениями и навыками, способностями к творческому мышлению, психологической готовностью принять ответственное решение в нестандартных условиях ликвидации чрезвычайных ситуаций. Но даже профессионалам высокого класса это порой не удастся. Человек не всегда способен заменить автоматику 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.

Инструмент распределения функций между оператором и машиной (имеется в виду система «оператор – машина») – перечни преимущественных возможностей для оптимального решения отдельных нестандартных задач. Например, оператор превосходит машину в обнаружении слабых визуальных и акустических сигналов, создании и использовании гибких процедур, хранении больших объемов информации и извлечении из долговременного «хранилища» памяти нужных фактов в нужный момент, индуктивном мышлении, и наоборот, машина превосходит человека в скорости и силе реакций, выполнении повторяющихся, рутинных задач, скорости и точности вычислений. Варианты подобных перечней специалистами разрабатываются до сих пор.

Однако у этого принципа достаточно быстро выявились серьезные ограничения, выразившиеся в существенной тривиальности итогового вывода: автоматика хорошо выполняет те функции, которые плохо выполняет оператор, и наоборот. Иначе говоря, возможности человека и автоматики оказались взаимоисключающими. Однако существуют задачи, например, оценка риска движения на высокой скорости, с которыми одинаково плохо справляются и люди, и машины. В противовес принципу преимущественных возможностей Н. Джордан (N. Jordan) выдвинул принцип взаимодополняемости оператора и машины. В соответствии с ним нужно не распределять функции, а организовывать совместную деятельность человека и машины таким образом, чтобы взаимно усиливать их функции. Взаимодополняемость может выражаться как в обеспечении оптимальной функциональности, так и в резервировании, дублировании человеком машины при возникновении отказов в ее работе посредством перехода на ручной режим управления.

С позиции проектирования новой техники (в том числе и пожарно-спасательной) проблема распределения функций между оператором и машиной нестационарна. Например, автоматика может отказать, а человек подвержен острому ситуационному и хроническому видам стресса. Таким образом, следует осуществлять динамическое или адаптивное распределение функций.

Принципы системного подхода к проектированию новой пожарно-спасательной техники. Общим для такого подхода является положение о зависимости степени автоматизации процессов управления от характеристик решаемых задач, условий деятельности и величины когнитивной или умственной рабочей нагрузки (workload) оператора. Считается необходимым снижать степень автоматизации при малой нагрузке и наоборот, что позволяет поддерживать ее на относительно постоянном уровне – не слишком низком и не слишком высоком.

Основные трудности при этом связаны с определением критериев распределения задач. Попытки использования для оценки рабочей нагрузки различных психофизиологических параметров, прежде всего характеризующих активность мозга, пока не увенчались успехом.

В то же время возможен и другой способ динамического распределения функций, при котором оператор-спасатель сам принимает решение и осуществляет передачу функций автоматике или оставляет их для выполнения вручную. Однако оператор может переоценить или, наоборот, недооценить свои возможности или ресурсы автоматике. Кроме того, автоматика с высокой степенью доверия будет использоваться часто, в противном случае может неоправданно выбираться ручное управление.

Проблемы доверия автоматике, активности в управлении, резервирования человеком автоматике, а также ответственности во многом решает принцип «активный оператор». Как следует из названия, этот принцип определяет необходимость поддержания некоторого уровня активности оператора в автоматизированных режимах управления в связи с тем, что человек, работая, всегда имеет в виду конечную цель управления и активно к ней стремится.

Соответственно, степень автоматизации необходимо выбирать так, чтобы оператор, непрерывно контролируя процессы управления, часть операций по управлению выполнял самостоятельно. Следствие указанного принципа – признание нецелесообразности использования полностью автоматических режимов и предпочтительность *полуавтоматического управления*.

В настоящее время целесообразно пока «не поднимать» целый пласт теоретических инженерно-психологических подходов к оператору и технике, составляющих методологическую основу приведенных принципов. Это машиноцентрический, технократический, технически-ориентированный подходы и противостоящие им антропоцентрический, пользователь-центрический, антропоориентированный, пользовательско-ориентированный, деятельностно-ориентированный, когнитивный и др.

Но что делать с новым типом отказов, выражающимся в возможности отключения исправных блоков систем, когда ни на автоматику, ни на человека нельзя полностью положиться? Понятно, что функцию резервирования автоматике оператором, реализуемую посредством самостоятельного снижения им степени автоматизации, нужно сохранить. Если же и оператор не может найти решения по выходу из непредвиденной ситуации, следует осуществить обратную, на первый взгляд, парадоксальную функцию – резервирование оператора автоматикой. Ее можно реализовать путем принудительного, не зависящего от воли человека повышения степени автоматизации процессов управления.

В случае непонимания и серьезных трудностей по выходу из ситуации (которая, кстати, может возникнуть не только из-за отказов техники, но и ввиду собственных ошибок) субъективная сложность деятельности оператора будет

гораздо выше, чем в нормальных условиях. Поэтому резервирование оператора автоматикой должно происходить при превышении некоторой нормативной величины этого показателя. И чем больше превышение, тем выше должна быть степень автоматизации, включая и переход на автоматический режим управления, если он возможен. В противном случае должны реализовываться автоматические резервные или аварийные режимы, обеспечивающие прежде всего надежность и безопасность технического объекта.

Повышение степени автоматизации, освобождая оператора от функций по управлению, предоставляет ему возможность для более полного и детального анализа ситуации. И если ситуация разъясняется, оператор переходит обратно к полуавтоматическому режиму управления, если же нет – контролирует работу автоматики.

Опыт изучения проблематики оптимального сочетания положительных свойств автоматических систем и систем ручного управления накоплен в космонавтике и авиации – отраслях, которые первыми внедряют достижения технического прогресса. И здесь отмечается важность и целесообразность полуавтоматического управления. Например, в работе [6] рассматривается система директорного управления самолетом (рис. 6).

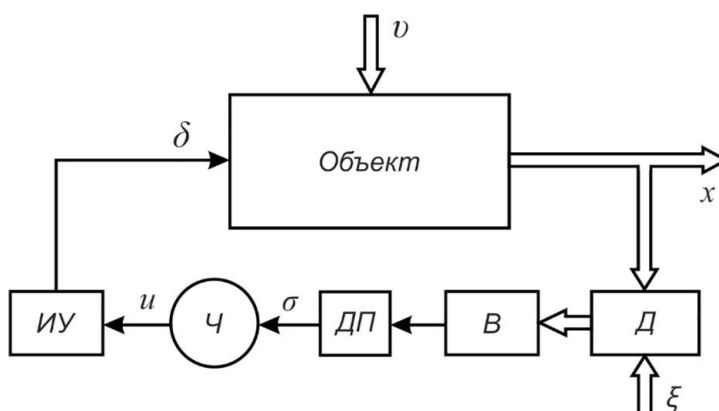


Рис. 6. Система директорного управления самолетом

Система директорного управления включает объект управления с вектором состояния x , датчики информации D , вычислитель командного сигнала B , директорный прибор $ДП$, человека-оператора $Ч$ и исполнительное устройство $ИУ$.

На систему действуют силовые v и информационные ξ возмущения. Человек-оператор воспринимает командный сигнал σ и создает управляющее воздействие u таким образом, чтобы уменьшить величину командного сигнала.

Высокое качество управления в директорной системе может быть обеспечено только в том случае, если характеристики всех ее звеньев хорошо согласованы друг с другом. Однако, как отмечают авторы работы [6], одно из звеньев, а именно человек-оператор, не имеет точного математического описания. В связи с этим теоретические оценки точности и надежности системы директорного управления оказываются недостаточно обоснованными. То есть для проверки практической применимости полуавтоматической системы обязательно требуется испытание ее на полунатурном стенде с включением в контур управления реального человека-оператора.

Для того, чтобы выявить основные направления работы в области создания действенных полуавтоматических систем управления современной техникой, можно представить такую систему в виде максимально упрощенной механической модели (рис. 7).

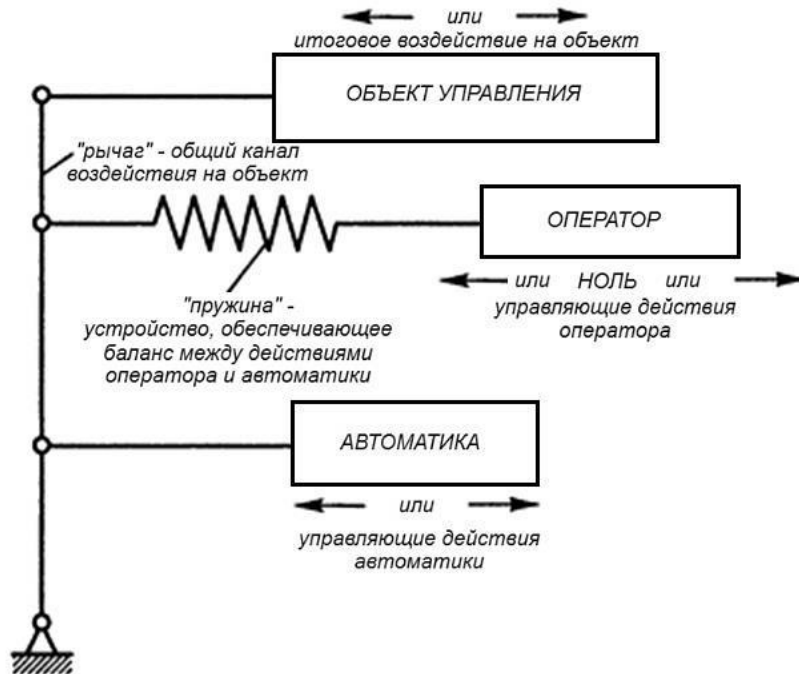


Рис. 7. Механическая модель полуавтоматической системы управления

Предположим, что каналом воздействия на объект управления является некий «рычаг», имеющий возможность отклоняться вправо и влево. На этот «рычаг» могут воздействовать оператор и система автоматики. Итоговое воздействие (некоторое суммарное усилие на «рычаге») передается на объект управления. Если оператор не принимает участия в управлении (управляющее действие оператора – *НОЛЬ* на рис. 7), то автоматика полностью управляет движением «рычага», растягивая или сжимая условную «пружину». В любой момент оператор может приложить к «пружине» усилие со своей стороны и скорректировать итоговое воздействие на объект управления. Именно разработка подобной «пружины» из механической модели для реальной системы управления представляется наиболее сложной задачей, поскольку этот элемент должен обеспечить баланс между действиями оператора и автоматики. Решение этой задачи требует максимально возможного учета свойств человека-оператора.

Таким образом, *полуавтоматические режимы управления должны быть основными*, их необходимо выбирать, исходя из оценки адекватности использования количественных критериев в программах автоматики, а автоматические и ручные – рассматривать как *резервные* для страховки оператора и автоматики соответственно. Изложенная стратегия гибкого изменения степени автоматизации процессов управления составляет содержание разработанного в настоящее время специалистами в области инжиниринга принципа *взаимного резервирования оператора и автоматики*.

Выводы. Эффективность работы спасателя МЧС с современной пожарной техникой достигается снижением последствий ошибок, связанных с неадекватностью психофизиологической готовности к обеспечению аварийно-спасательных и других неотложных работ, плохой профессиональной подготовкой или изменениями текущего психофизиологического и соматического функционального состояния при осуществлении деятельности, что может привести к неоправданным и неадекватным действиям. Для решения этой задачи необходимо проводить профессиональный отбор и обеспечить качественную подготовку (адаптацию) спасателей на тренажерных комплексах с психофизиологическим контролем их функционального состояния и с учетом специфик и профессиональной деятельности, а также принять за основу стратегию взаимного резервирования оператора и автоматики.

Список литературы / References

1. Яковенко, Ю. Ф. Концептуальные подходы к созданию и технические решения зарубежных пожарных автомобилей нового поколения / Ю. Ф. Яковенко, К. Ю. Яковенко // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – № 2. – С. 58–63.

Yakovenko, Yu. F., Yakovenko, K. Yu. *Kontseptualnyye podkhody k sozdaniyu i tekhnicheskiye resheniya zarubezhnykh pozharnykh avtomobiley novogo pokoleniya* [Conceptual approaches to the creation and technical solutions of new generation foreign fire trucks]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2003, no. 2, pp. 58-63. (In Russian)

2. Яковенко, Ю. Ф. Насосные установки современных пожарных автомобилей: модельные ряды, особенности конструкции, проблемы производства / Ю. Ф. Яковенко, К. Ю. Яковенко // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – № 2. – С. 56–65.

Yakovenko, Yu. F., Yakovenko, K. Yu. *Nasosnyye ustanovki sovremennykh pozharnykh avtomobiley: modelnyye ryady, osobennosti konstruktssii, problem proizvodstva* [Pumping units of modern fire trucks: model ranges, design features, production issues]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2004, no. 2, pp. 55-65. (In Russian)

3. Учебно-методическое пособие по использованию беспилотных летательных аппаратов. Проект ЮНИСЕФ «Развитие беспилотной авиации в целях предупреждения и ликвидации последствий ЧС с фокусом на уязвимые группы населения». – Алматы : Центр по чрезвычайным ситуациям и снижению риска стихийных бедствий, 2020. – 64 с.

Educational and methodical manual on the use of unmanned aerial vehicles. UNICEF project “Development of unmanned aviation in order to prevent and eliminate the consequences of emergencies with a focus on vulnerable groups of the population”. Almaty: Center for Emergency Situations and Disaster Risk Reduction, 2020. 64 p. (In Russian)

4. 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., Kholodtseva, A. Ye. *Psikhologicheskiye mekhanizmy i strategii sovladaniya s krizisnymi situatsiyami 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)

5. Сухих Н. Н. Исследование процессов директорного управления воздушным судном при отказах бортового вычислителя / Н. Н. Сухих, В. Л. Рукавишников // *Автоматика на транспорте*. – 2022. – № 2. – С. 121–132.

Sukhikh, N. N., Rukavishnikov, V. L. *Issledovaniye protsessov direktornogo upravleniya vozduzhnym sudnom pri otkazakh bortovogo vychislitelya* [Investigation of the aircraft director control processes in case of on-board computer failures]. *Avtomatika na transporte*. 2022. № 2, pp. 121-132. (In Russian)

Статья рекомендована
зав. кафедрой внутренних болезней № 1
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный медицинский
университет имени М. Горького»
д. м. н. Е. В. Щукиной

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 21.08.2024
Дата опубликования 19.12.2024

Vladimir Vladimirovich Cherkesov, Doctor of Medical Sciences, Professor, senior scientific researcher;
e-mail: cherkesov.vv@gmail.com;

Alexander Viktorovich Petrov, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor; e-mail: petroff77@list.ru
FGKOU VO “Donetsk Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia”
283050, Donetsk, 34a, ulitsa Rosa Luxemburg. Phone: +7 (949) 331-29-68

POSSIBILITIES OF RESCUERS PSYCHOPHYSIOLOGICAL ADAPTATION USING MODERN TECHNOLOGY EMERGENCY RESCUE EQUIPMENT (Information and analytical analysis. Part 2)

Objective. Increase the emergency rescue operations efficiency of fire rescue workers of the Ministry of Emergency Situations using modern emergency rescue equipment and from the position of maximum adaptation of the “Man–machine” system elements.

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. Possibilities of rescuers psychophysiological adaptation using modern technology emergency rescue equipment. (Information and analytical analysis. Part 2). *Nauchnyy vestnik NII “Respirator”*, 2024, № 4(61), pp. 44-54. EDN: LMXEER.

УДК 614.8-051:612.821

Владимир Владимирович Черкесов, д-р мед. наук, профессор, ст. науч. сотр.;

e-mail: cherkesov.vv@gmail.com

ФГКОУ ВО «Донецкий институт ГПС МЧС России»

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

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

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

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

ОЦЕНКА ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СТАТУСА ПОЖАРНЫХ-СПАСАТЕЛЕЙ МЧС РОССИИ

Цель. Исследовать психоэмоциональное состояние пожарных-спасателей МЧС России и его роль в формировании адаптационного потенциала личности для совершенствования профессиональных навыков при проведении аварийно-спасательных работ.

Методы. Информационно-аналитический системный анализ, обобщение и статистическая обработка результатов экспериментальных исследований.

Результаты. Установлено, что эффективность проведения аварийно-спасательных работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера во многом определяется профессиональным уровнем подготовки пожарных-спасателей МЧС России. Наряду с функциональной и физической адаптацией психоэмоциональная устойчивость является базовой составляющей адаптационного потенциала личности в формировании этого уровня. Определена роль психоэмоционального компонента адаптационного потенциала личности пожарного-спасателя как интегрального показателя профессиональной эффективности при проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Научная новизна. Впервые установлена зависимость степени риска развития синдрома профессионального выгорания у пожарных-спасателей в зависимости от возраста и стажа работы в условиях экстремальных ситуаций.

Практическая значимость. Доказана перспективность и необходимость разработки интегральных показателей, характеризующих адаптационный потенциал пожарных-спасателей МЧС России, позволяющих формировать эффективные профессиональные навыки, необходимые при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: адаптационный потенциал личности; пожарные-спасатели; психосоматическая адаптация; формирование профессиональных навыков; чрезвычайная ситуация.

Для цитирования: Черкесов В. В., Мороз Т. О. Оценка психоэмоционального статуса пожарных-спасателей МЧС России // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 4(61). – С. 55–64. – EDN: LXXWDA

Постановка проблемы. В ходе выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР) пожарные-спасатели МЧС России подвергаются воздействию неблагоприятных и опасных факторов чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера, и их психотравмирующих составляющих. Выполнение профессиональных задач связано с угрозой для их жизни и здоровья, а результаты имеют высокую социальную востребованность и значимость. Кроме того, содержание АСДНР, необходимость оперативного принятия решений, сложность используемых технических средств и другие специфические условия, возникающие при ликвидации ЧС, обуславливают высокие требования, предъявляемые к профессиональной деятельности, уровню знаний, умений, навыков, а также к поведенческим и психологическим особенностям [1].

Труд пожарных-спасателей сопряжен с большой эмоциональностью, обусловленной особенностями их деятельности. Сотрудники МЧС России вынуждены действовать в условиях слабо прогнозируемой и часто неуправляемой ситуации, их работа требует повышенных физических и эмоциональных затрат. Пожарным-спасателям необходимо осуществлять профессиональную деятельность в режиме дефицита времени, с максимальной скоростью принимать управленческие решения и согласовывать свои действия, постоянно осуществляя мониторинг текущих изменений ЧС [2, 3].

Психическая напряженность у сотрудника МЧС России может быть вызвана также несоответствием уровня развития профессиональных качеств требованиям, предъявляемым данной деятельностью к личности пожарного-спасателя: психологической неподготовленностью, чрезмерной эмоциональной возбудимостью, впечатлительностью, низкой эмоциональной устойчивостью, плохой физической подготовленностью и т. д.

Названные аспекты профессиональной деятельности сотрудника Государственной противопожарной службы МЧС России могут негативно влиять на его психологическое и общефизическое здоровье. Это, в свою очередь, приводит к дезадаптации и нарушению физиологического функционирования, изменению форм поведения, развитию патологических процессов, увеличивает вероятность развития преморбидных состояний [4, 5].

Цель работы – исследовать психоэмоциональное состояние пожарных-спасателей МЧС России и его роль в формировании адаптационного потенциала личности для совершенствования профессиональных навыков при проведении аварийно-спасательных работ.

Результаты исследований. Для решения поставленных задач было обследовано 43 пожарных-спасателя МЧС России. Их возрастно-стажевая характеристика представлена в табл. 1.

Таблица 1

Возрастно-стажевая характеристика обследованных
пожарных-спасателей МЧС России ($n = 43$)

Возраст, лет	Стаж, лет	%
20...29	1...5	16,28
	Более 5	11,63
30...39	1...5	11,63
	6...10	16,28
	Более 10	25,58
40...49	1...5	0,00
	6...10	6,98
	Более 10	2,33
50 и более	1...5	0,00
	6...10	0,00
	Более 10	9,30
Всего		100

Проведено психологическое тестирование с использованием теста дифференциальной оценки состояний сниженной работоспособности (ДОРС), созданного А. Б. Леоновой и С. Б. Величковской на основе теста BMSII Пласа и Рихтера, который используют для оценки степени тяжести труда разных видов профессиональной деятельности [5]. Опросник ДОРС предназначен для индивидуальной диагностики и субъективной оценки четырех состояний снижения работоспособности – утомления, монотонии, пресыщения, стресса. Он включает 40 высказываний, характеризующих психоэмоциональное состояние исследуемого, возникающее в процессе работы.

Интерпретация результатов тестирования направлена на выявление основных факторов, характеризующих психоэмоциональный стресс:

- доминирующих переживаний тех или иных состояний сниженной работоспособности;
- степени их выраженности;
- когнитивной оценки ситуаций: эмоционально-напряженной (собственно стресс); истощающей (утомление); однообразной (монотония); эмоционально-неприятной (пресыщение) (рис. 1, табл. 2).

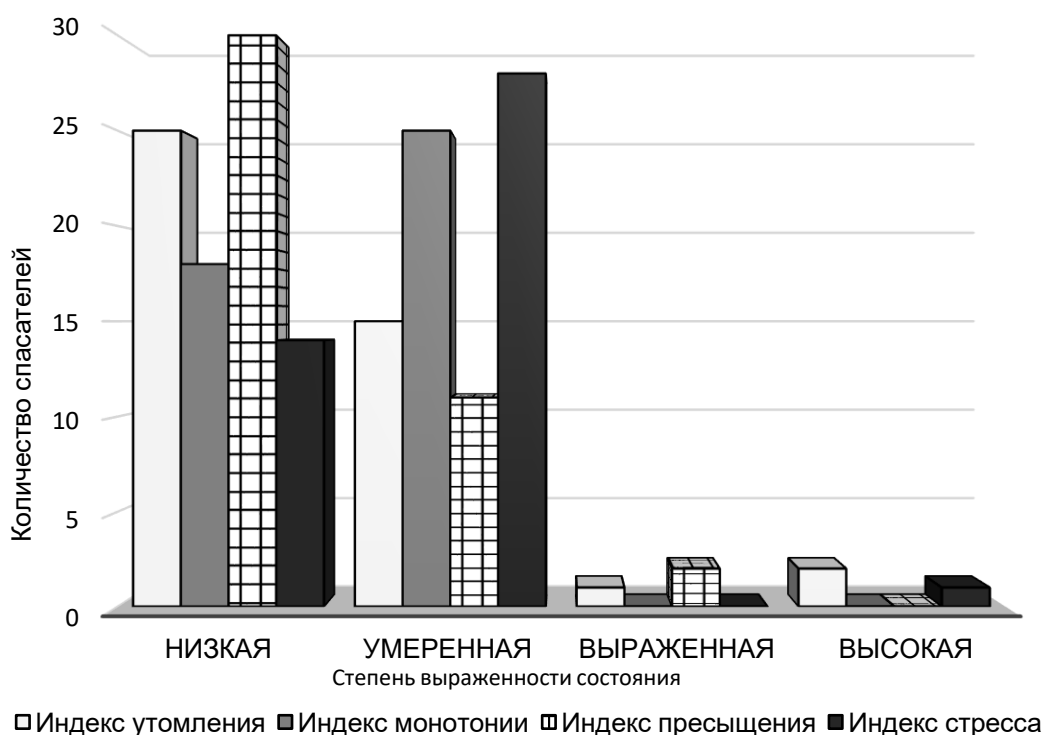


Рис. 1. Диагностика состояний сниженной работоспособности у пожарных-спасателей МЧС России (по тесту ДОРС)

По индексу утомления (далее – ИУ) в возрастной группе пожарных-спасателей 30...39 лет при стаже работы более 10 лет формируется низкий уровень данного фактора у 14 %. В целом, интегральный показатель «индекс стресса» (ИС) до 16 баллов установлен у пожарных-спасателей этой же возрастно-стажевой группы. По мере увеличения интегрального показателя

ИС от уровня «низкий» до уровня «умеренный» установлено достоверное увеличение психоэмоционального напряжения среди пожарных-спасателей в возрастных группах 20...29 лет и 30...39 лет со стажем более 5 лет.

Таблица 2

Результаты тестирования пожарных-спасателей МЧС России по возрастно-стажевым группам по тесту ДОРС ($n = 43$, %)

Возраст, лет	Стаж работы, лет	Степень выраженности состояния			
		Низкая – индекс стресса до 16 баллов	Умеренная – индекс стресса 17...24 балла	Выраженная – индекс стресса 25...30 баллов	Высокая – индекс стресса 31 и более баллов
20...29	1...5	6,98	9,30	0,00	0,00
	более 5	0,00	11,63	0,00	0,00
30...39	1...5	2,33	9,30	0,00	0,00
	6...10	4,65	11,63	0,00	0,00
	Более 10	13,95	9,30	0,00	2,33
40...49	1...5	0,00	0,00	0,00	0,00
	6...10	2,33	4,65	0,00	0,00
	Более 10	2,33	0,00	0,00	0,00
50 и более	1...5	0,00	0,00	0,00	0,00
	6...10	0,00	0,00	0,00	0,00
	Более 10	0,00	9,30	0,00	0,00

Таким образом, результаты тестирования с использованием теста ДОРС позволили установить следующее. Как интегральный показатель, «индекс стресса» наиболее чувствителен и прогностически важен для выявления лиц с начальными признаками формирования психоэмоционального напряжения.

В группе риска прежде всего находятся работники наиболее трудоспособной и профессионально подготовленной возрастной группы 30...39 лет со стажем работы в своей профессии 5...10 лет, хотя у некоторых пожарных-спасателей такое психологическое состояние (предболезненный синдром) начинает формироваться в возрасте от 20 лет и старше, при стаже работы 5 лет и больше.

Результаты исследования необходимо учитывать при ежегодных медицинских осмотрах, профотборе, переквалификации или освоении новой профессии для работы с современной аварийно-спасательной техникой.

Данная возрастно-стажевая группа пожарных-спасателей перспективна в плане эффективной работы в своей профессии, но она же и наиболее «уязвима» в плане «срыва» высокого уровня адаптационного потенциала и требует наибольшего внимания на уровне профориентации и подготовки руководящих кадров МЧС России среднего и высшего звена. Эти работники должны проходить более углубленное, комплексное обследование и изучение психофизиологических, функциональных и общесоматических интегральных показателей, особенно в динамике наблюдения со своевременным включением, при необходимости,

комплекса психофизических и функциональных методов повышения профессиональной адаптации, что позволит сберечь наиболее перспективный профессиональный ресурс МЧС России.

В ходе психологического исследования установлено, что испытуемые пожарные-спасатели имеют очень высокую самооценку, свидетельствующую о высоком самоуважении, уверенности в себе при несколько сниженной критичности в отношении себя. Наиболее высокая самооценка характерна для спасателей, имеющих стаж работы в среднем более 5 лет и уступающих только пожарным, стаж работы которых составляет в среднем 6...10 лет. Это указывает на то, что незначительное расхождение или его отсутствие между реальным и идеальным образами «Я» отражает удовлетворенность собой, слабо выраженное стремление к самосовершенствованию и говорит о низком уровне притязаний. Высокая самооценка предполагает уверенность в себе, а уверенный в себе сотрудник меньше подвержен чувству тревоги. В связи с тем, что профессия требует не только гибкости и свежих решений, но и осмотрительности, естественно, что спасатели отличаются осторожностью и стремлением к личному контролю.

Наши данные согласуются с результатами исследований [6], которые свидетельствуют о том, что лица, принимающие участие в аварийно-спасательных работах, характеризуются высокой самооценкой.

Таким образом, можно предположить, что, с одной стороны, профессия спасателя привлекает уверенных в себе людей, ведущих себя адекватно в ситуациях, связанных с профессиональным риском, а с другой – высокая самооценка предопределяет выбор этими людьми профессии спасателя, так как для работы в экстремальных условиях требуются уверенные в себе и в своих силах люди, что повышает их стрессоустойчивость в экстремальных ситуациях. Поэтому можно заключить, что осознание спасателями ответственности и сложности своей профессии (в особенности это касается спасателей с профессиональным стажем более 10 лет) способствует ощущению собственной значимости, т. е. способствует повышению самооценки.

Результаты нашего исследования позволили установить, что испытуемые из группы спасателей в большинстве своем обладают средним уровнем притязаний, что свидетельствует об адекватной оценке своих возможностей определять цели и решать поставленные задачи. Это особенно важно для спасателей и пожарных, которые отличаются еще более высоким уровнем притязаний в связи со спецификой их деятельности, так как они отвечают не только за себя, но и за своих товарищей, за жизнь и здоровье пострадавших во время происшествия людей.

Спасатели со стажем до 5 лет имеют низкий уровень притязаний, что характеризует их как людей самодостаточных, у которых нет необходимости в постановке слишком высоких целей для того, чтобы быть удовлетворенными собой (так как низкий уровень притязаний напрямую связан с высокой самооценкой).

Вместе с тем у большинства лиц, составляющих группу пожарных-спасателей со стажем работы не менее 10 лет, выявлен средний уровень личностной тревожности. У некоторых (единичные, статистически незначимые случаи) пожарных-спасателей установлен фактор эмоциональной нестабильности. Вместе взятые результаты свидетельствуют о том, что данной категории лиц свойственна

тенденция к расширению круга ситуаций, которые воспринимаются ими как угрожающие, а также повышенное внимание к отрицательным сигналам извне, подкрепляющим чувство опасности. Толерантность к стрессу у них достоверно снижена.

В группе пожарных-спасателей, и особенно пожарных, которым часто приходится находиться в эпицентре огня, более высокий уровень ситуативной тревожности, повышенное внимание к угрожающим сигналам объясняется, по-видимому, спецификой их деятельности. При этом ситуация ожидания вызова, характеризующаяся более высоким уровнем тревожности, в данном случае является «желательной, полезной», так как позволяет объективно оценить возможную опасность, ориентирует на поиск источника угрозы и средств для ее преодоления.

В группе пожарных-спасателей наряду со средним уровнем личностной тревожности у большинства лиц наблюдаются низкий уровень ситуативной тревожности и очень высокая самооценка, что, по нашему мнению, может быть либо демонстрацией высокой удовлетворенности самим собой, либо включением компенсаторных механизмов в связи с требованиями, предъявляемыми профессией к личности. Показатели личностной и ситуативной тревожности у спасателей связаны между собой, что указывает на зависимость ситуативной тревожности от личностной. Показатель личностной тревожности имеет положительную связь с показателями экстернальности, нейротизма, низкой психической адаптации, факторами «низкая тревожность», «высокая тревожность», а также отрицательную связь с показателями самооценки.

Взаимосвязь этих показателей понятна, так как высоко тревожные люди обычно эмоционально нестабильны, поэтому хуже контролируют свои эмоции и поведение, не уверены в себе и в своих силах, а вследствие этого возникает беспокойство, напряжение, снижение самооценки и зависимость от чужого мнения, боязнь перемен. Все это, вместе взятое, приводит к нарушению психической адаптации и не способствует стрессоустойчивости в чрезвычайных обстоятельствах. Показатель ситуативной тревожности обнаруживает значимые корреляции с большинством из этих показателей, что очевидно, так как к ситуационно обусловленному, неадекватно ситуации, значительному повышению тревожности наиболее предрасположены эмоционально нестабильные, высоко тревожные, менее уверенные в себе спасатели. Это ведет к нарушению психической адаптации и мешает работе в экстремальных условиях в связи с тем, что делает невозможным принятие быстрых и правильных решений.

Таким образом, результаты исследования указывают на то, что большинство пожарных-спасателей характеризуются низким уровнем ситуативной и личностной тревожности, что способствует стрессоустойчивости в чрезвычайных ситуациях.

Проблема повышения адаптационного потенциала личности (АПЛ) и психического здоровья пожарных-спасателей МЧС России достаточно часто поднимается в научной литературе, но прямая зависимость негативного влияния профессии пожарного-спасателя, чья работа сопряжена с постоянным риском для жизни и здоровья, в настоящее время не доказана.

Информационно-аналитический анализ, проведенный в рамках настоящего исследования, показывает наличие проблем в сфере психологического

и соматического здоровья пожарных-спасателей. Эти проблемы полиморфны и со временем становятся все более деструктивными.

Период «до болезни» характеризуется рядом дезадаптивных признаков и может быть предупрежден в случае раннего обнаружения. В любой сфере, будь то медицина или механика, лучше предупреждать, чем лечить и ремонтировать. Своевременное выявление донозологического периода позволит предпринять все возможные меры для предупреждения развития дезадаптивного состояния, когда потребуется вмешательство врача-психиатра и врача-интерниста.

В современной психологии существует три наиболее общих уровня, описывающих активность человека, напрямую связанную с его здоровьем: биологический, психологический и социальный. Проблема психологического здоровья неоднозначна. Однако к настоящему времени нет очевидного и доказанного критерия или фактора, негативно влияющего на психологическое здоровье человека. В последнее время понятие «экстремальная ситуация» существенно расширило свои рамки. В качестве экстремальных необходимо рассматривать ситуации сильного стресса в обыденной жизни и в профессиональной деятельности.

Однако экстремальная ситуация неоднозначно влияет на деформации ценностно-смысловой сферы деятельности специалиста. Разные типы экстремальных ситуаций предъявляют разные психологические требования к работающему человеку.

В исследованиях экстремальных ситуаций последних десятилетий это влияние рассматривается фрагментарно: подчеркивается исключительно деструктивная и виктимная сторона этой проблемы и игнорируется возможность личностного роста и трансформации АПЛ человека.

На пожарных-спасателей, находящихся в экстремальных условиях, наряду с различными неблагоприятными профессионально-производственными факторами действуют и психотравмирующие обстоятельства, обычно представляющие собой комплекс сверхсильных раздражителей, вызывающих нарушение психической деятельности в виде так называемых реактивных (психогенных) состояний. Следует подчеркнуть, что психогенное воздействие экстремальных условий складывается не только из прямой, непосредственной угрозы жизни человека, но и опосредованной, связанной с ожиданием ее реализации.

Наибольшим признанием у специалистов пользуется понятие степени «риска» заболевания или болезненного донозологического состояния, отражающее вероятностный подход к пониманию здоровья (как меры вероятности возникновения тех или иных болезней). По оценке исследователей, 20...90 % населения по состоянию здоровья находится в промежуточном состоянии между здоровьем и болезнью. Эти состояния именуют по-разному – «симптомы», «состояния дезадаптации», «повышенный риск», «предболезнь» и т. п. [7].

Отсутствием надежных критериев идентификации указанных промежуточных состояний, по-видимому, объясняется стремление ввести дополнительные критерии, которые способствовали бы их дальнейшей дифференциации и сужению области, относимой к предболезненным расстройствам. Речь идет о разработке некоторых операциональных понятий, которые, несмотря на их несовершенный характер и отсутствие универсальности,

могли бы служить более или менее удовлетворительному решению различных практических задач.

Выводы. Результаты исследования позволили установить, что в группе риска развития «синдрома профессионального выгорания» прежде всего находятся пожарные-спасатели наиболее трудоспособной и профессионально подготовленной возрастной группы 30...39 лет со стажем работы в своей профессии 5...10 лет. Однако у ряда обследованных пожарных-спасателей данное психологическое состояние (предболезненный синдром) начинает формироваться в возрасте от 20 лет и старше при стаже работы не менее 5 лет. Эти данные необходимо учитывать при ежегодных медицинских осмотрах, профотборе, переквалификации или освоении новой профессии пожарными-спасателями, при работе с современной аварийно-спасательной техникой.

Список литературы / References

1. Дежкина, Ю. А. Развитие профессионально важных качеств сотрудников государственной службы МЧС России в процессе профессионализации : специальность 19.00.03 «Психология труда, инженерная психология, эргономика» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата психологических наук / Юлия Александровна Дежкина. – Санкт-Петербург : РГПУ, 2008. – 24 с. Место защиты: Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена.

Dezhkina, Yu. A. *Razvitiye professionalno vazhnykh kachestv sotrudnikov gosudarstvennoy sluzhby MChS Rossii v protsesse professionalizatsii* [Development of professionally important qualities of civil service employees of the EMERCOM of Russia in the process of professionalization : 19.00.03 “Occupational psychology, engineering psychology, ergonomics” specialty : Candidate of Psychological Sciences dissertation / Yulia Aleksandrovna Dezhkina]. Saint-Petersburg: RGPU, 2008. 24 p. Place of thesis defence: A. I. Herzen Russian State Pedagogical University. (In Russian)

2. Водопьянова, Н. Е. Психодиагностика стресса / Н. Е. Водопьянова. – Санкт-Петербург : Питер, 2009. – 336 с.

Vodopyanova, N. E. *Psikhodiagnostika stressa* [Stress psychodiagnostics]. Saint-Petersburg, Piter, 2009. 336 p. (In Russian)

3. Дмитриева, М. А. Психология труда и инженерная психология / М. А. Дмитриева. – Ленинград : Ленинград, 1979. – 109 с.

Dmitriyeva, M. A. *Psikhologiya truda i inzhenernaya psikhologiya* [Psychology of work and engineering psychology]. Leningrad, Leningrad, 1979. 109 p. (In Russian)

4. Диагностика, профилактика и коррекция стрессовых расстройств среди сотрудников Государственной противопожарной службы МВД России : Методические рекомендации. – 2-е изд. – Москва, 2001. – 256 с.

Diagnostica, profilaktika i korrektsiya stressovykh rasstroystv sredi sotrudnikov Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MVD Rossii: Metodicheskiye rekomendatsii [Diagnostics, prevention and correction of stress disorders among employees of the State Fire Service of the Ministry of Internal Affairs of Russia: Methodological recommendations]. Second edition. Moscow, 2001. 256 p. (In Russian)

5. Дружинин, В. Н. Психодиагностика общих способностей / В. Н. Дружинин. – 3-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 349 с.

Drujinin, V. N. *Psikhodiagnostika obshchikh sposobnostey* [General abilities' psychodiagnosics]. Third edition. Moscow, Publishing house Yurait, 2024. 349 p. (In Russian)

6. Душков, Б. А. Психология труда, профессиональной информационной и организационной деятельности / Б. А. Душков, А. В. Королёв, Б. А. Смирнов; под ред. Б. А. Душкова. – 3-е изд. – Москва : Академический Проект, 2020. – 848 с.

Dushkov, B. A. [ed.], Korolev, A. V., Smirnov, B. A. *Psikhologiya truda, professionalnoy informatsionnoy i organizatsionnoy deyatel'nosti* [Psychology of labor, professional information and organizational activities]. Third edition. Moscow, Academic Project, 2020. 848 p. (In Russian)

7. Еремин, А. Л. Особенности развития эмоционального стресса у лиц с различными уровнями физической подготовленности / А. Л. Еремин // Гигиена труда и профессиональные заболевания. – 1989. – № 8. – С. 7–9.

Yeryomin, A. L. *Osobennosti razvitiya emotsional'nogo stressa u lits s razlichnymi urovnymi fizicheskoy podgotovlennosti* [Developments features of the emotional stress in individuals with different physical fitness levels]. *Occupational hygiene and occupational diseases*, 1989, no. 8, pp.7-9. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым

Дата поступления рукописи 15.10.2024

Дата опубликования 19.12.2024

Vladimir Vladimirovich Cherkesov, Doctor of Medical Sciences, Professor, senior scientific researcher;
e-mail: cherkesov.vv@gmail.com

FGKOU VO "Donetsk Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia"
283050, Donetsk, 34a, ulitsa Rosa Luxemburg. Phone: +7 (949) 331-29-68

Tatyana Olegovna Moroz, head of department; e-mail: t.moroz@80.mchs.gov.ru
Federal State Institution "The Scientific Research Institute "Respirator" EMERCOM of Russia"
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-43

PSYCHOEMOTIONAL STATUS ASSESSMENT OF THE FIREFIGHTERS AND RESCUERS OF THE EMERCOM OF RUSSIA

Objective. To study the psychoemotional status of firefighters and rescuers of the EMERCOM of Russia and its role in the formation of the individual's adaptive potential to improve professional skills in emergency rescue operations.

Methods. Information and analytical systems analysis, generalisation and statistical processing of experimental research results were applied.

Results. It was found that the effectiveness of emergency rescue operations in the elimination of natural and man-made emergencies is largely determined by the professional level of training of firefighters and rescuers of the EMERCOM of Russia. Along with functional and physical adaptation, psycho-emotional stability as a basic component of the adaptive potential of a personality is the determining factor in the formation of this level. The role of the psycho-emotional component of the adaptive potential of the personality of a firefighter-rescuer as an integral indicator of professional effectiveness during emergency rescue and other urgent work is determined.

Scientific novelty. The dependence between the degree of risk of developing professional burnout syndrome in firefighters and rescuers and age and work experience in extreme situations was defined for the first time.

Practical value. The prospects and the need to develop integral indicators characterizing the adaptive potential of firefighters and rescuers of the EMERCOM of Russia, allowing them to form effective professional skills necessary in emergency response, are proved.

Keywords: *individual's adaptive potential; firefighters; rescuers; psychosomatic adaptation; professional skills' formation; emergency situation.*

For citation. Cherkosov V. V., Moroz T. O. Psychoemotional status assessment of the firefighters and rescuers of the EMERCOM of Russia. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 4(61), pp. 55-64. EDN: LXXWDA.

УДК [614.8-051:331.461]:[622.867.2:622.28]

Павел Павлович Петренко, адъюнкт; e-mail: p.petrenko@agz.50.mchs.gov.ru;

Анатолий Валерьевич Рыбаков, д-р техн. наук, профессор, проф. кафедры информационных систем и технологий; e-mail: a.rybakov@agz.50.mchs.gov.ru;

Евгений Вячеславович Иванов, канд. техн. наук, доцент; e-mail: e.ivanov@agz.50.mchs.gov.ru ФГБОУ ВО "Академия гражданской защиты МЧС России"

141435, Московская обл., г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А. Тел.: +7 (498) 699-05-59

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

ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ СПАСАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПУТЕМ УСТАНОВКИ КРЕПЕЙ

Цель. Исследование приемов и способов устройства крепей при спасении пострадавших из завалов для оценки защищенности спасателей при проведении аварийно-спасательных работ.

Методы. Применен комплексный метод исследования, включающий анализ литературных источников, проведение теоретических и практических исследований с использованием системы уравнений.

Результаты. Представлены практические рекомендации по внедрению новых технологий, позволяющих сократить время нахождения спасателей в опасной зоне для обеспечения безопасного проведения работ.

Научная новизна. Впервые на основе теоретических исследований предложена практическая оценка защищенности спасателей при проведении аварийно-спасательных работ путем установки крепей.

Практическая значимость. Практические рекомендации помогут распространению передового опыта среди спасателей реагирующих подразделений всех видов аварийно-спасательных служб.

Ключевые слова: устройство крепей; аварийно-спасательные работы; обрушение зданий и сооружений; риск; опасности; защита.

Для цитирования: Петренко П. П., Рыбаков А. В., Иванов Е. В., Кузьмин А. В. Оценка защищенности спасателей при проведении аварийно-спасательных работ путем установки крепей // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 4(61). – С. 65–71. – EDN: MEDV2D.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными и практическими значениями. Ведение аварийно-спасательных работ сопряжено с риском травмирования и гибели спасателей, их осуществляющих. Несмотря на то, что воздействие опасных и вредных факторов производственной среды – неотъемлемая часть работы спасателей, один из принципов деятельности спасателей – принцип оправданного риска и обеспечения безопасности при проведении аварийно-спасательных и неотложных работ.

Вместе с тем без постоянного изучения новых технологий невозможно повысить профессиональные навыки и совершенствовать выучку, в том числе по вопросам обеспечения безопасности при проведении аварийно-спасательных работ. Такие занятия должны включать отработку вопросов обеспечения безопасности ведения аварийно-спасательных работ. Для этого необходимо

привлекать исследовательские группы с целью уточнения основных нормативных параметров устройства крепей, безопасных приемов ведения аварийно-спасательных работ и технологий организации работ в условиях завалов.

Анализ последних исследований. Аварийная крепь строится на тех же инженерных принципах, что и несущие строительные конструкции. Единственное отличие – аварийная крепь должна быть быстросборной, надежной и легкой [1].

Основные виды крепей – «Колодец», «Т-образные», «П-образные», решетчатые (рис. 1).



а



б



в



г

Рис. 1. Виды крепей:

а – «Колодец», б – «Т-образная», в – «П-образная», г – решетчатая

С точки зрения принципа оправданного риска за счет применения крепей сокращается вероятность травмирования спасателя при подвижках неустойчивых конструкций. В то же время технология изготовления и применения крепей предусматривает непосредственное нахождение спасателя в опасной зоне при проведении подготовительных работ и их монтаже.

Цель работы – исследование приемов и способов устройства крепей при спасении пострадавших из завалов для оценки защищенности спасателей при проведении аварийно-спасательных работ.

Результаты исследований. В работе [2] авторами приведены результаты экспериментальных исследований по оценке временных значений нахождения спасателей в опасной зоне при ведении работ по разбору завалов. Основной задачей была оценка степени влияния различных факторов на вероятность травмирования (гибели) спасателей. Аналогичный подход был реализован и в ходе оценки безопасного устройства крепей.

Крепи устанавливали в следующей последовательности:

1. Проведение расчетов по оценке массы неустойчивых конструкций (фрагментов).

2. Оценка несущей способности брусков деревянных крепей, проведение замеров, подготовка материалов для устройства крепей.

3. Монтирование крепей (осуществляли в соответствии с положениями СП 64.13330.2017 «СНиП П-25-80. Деревянные конструкции»):

- установка фанерной накладки на верхняк;
- определение направлений раскрытия трещин, ориентация верхняка относительно неустойчивого элемента;

- подготовка лежня с фанерными накладками;

- установка стойки с фиксированным верхняком в нишу фанерной накладки на лежне;

- забивание клиновой пары, определение устойчивого положения стойки;

- фиксация клиновой пары;

4. При прохождении опасного участка и устройстве дополнительных страхующих устройств ранее установленные крепи могут быть демонтированы и разобраны, а имеющийся материал повторно использован [4–6].

Общий вид установки Т-образной крепи представлен на рис. 2.

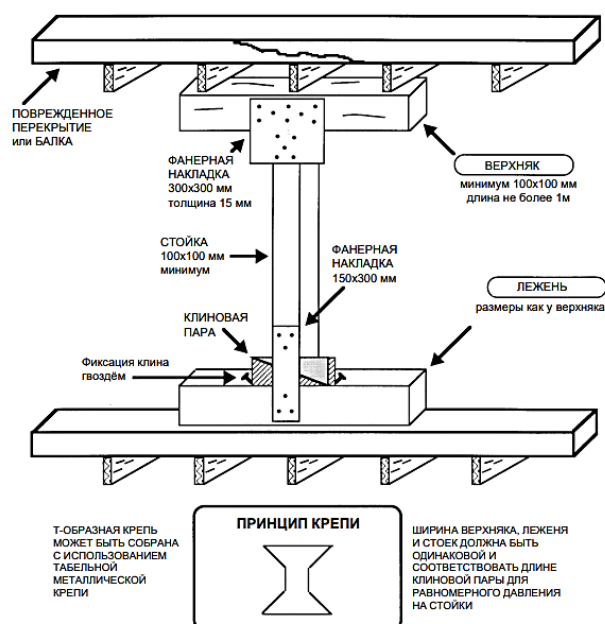


Рис. 2. Общий вид «Т-образной» крепи

Состояние безопасности спасателей будет обуславливаться временем их нахождения в опасной зоне, то есть на том участке, где фрагмент неустойчивой конструкции в случае его подвижки может привести к травмированию и гибели спасателя. Тогда фактически вероятность травмирования (гибели) спасателя будет находиться в прямой зависимости от времени и может быть описана следующей функцией:

$$P = f(\tau),$$

где τ – время нахождения спасателя в опасной зоне, ч.

Такая зависимость может быть получена на основе статистических данных по травмированию и гибели спасателей при работе в завалах ($\tau_{\text{травм}}$, ч).

Тогда, зная функциональную зависимость времени нахождения в опасной зоне от изменяемых факторов, получим

$$\tau = f(x_i),$$

где x_i – значения i -х факторов, обуславливающих необходимость нахождения спасателей в опасной зоне.

Такая зависимость может быть построена на основе экспериментально полученных показателей, позволяющих оценить время нахождения спасателей в опасной зоне.

Среднее время монтажа крепей составляет:

- при установке штатных крепей (по временной схеме) – 2 мин 30 с;
- при установке крепи по схеме «колодец» – 6 мин 20 с;
- при установке «Т-образной» крепи звеном из трех спасателей – 27 мин; звеном из четырех спасателей – 20 мин;
- при установке «П-образной» крепи звеном из трех спасателей – 32 мин; звеном из четырех спасателей – 22 мин.

Следует отметить, что непосредственно в опасной зоне спасатели находятся минимальное время, обуславливаемое необходимостью установки стойки с фиксированным верхняком в нишу фанерной накладки на лежне и ее фиксации, а также установки клиновой пары. Для расчетов из двух, трех и четырех спасателей это время фактически одинаково и зависит только от типа применяемого инструмента для фиксации стойки (молоток, пневматический гвоздезабиватель, газовый гвоздезабиватель):

- при применении молотка – 5...7 мин;
- при применении пневматического гвоздезабивателя – 3...4 мин;
- при применении газового гвоздезабивателя – 2...3 мин.

Исследования показали, что за счет использования пневмоинструмента (в частности, пневматического гвоздезабивателя) удалось сократить время на фиксацию стойки в 2 раза по сравнению с применением обычного молотка. Использование газового гвоздезабивателя позволило сократить время в 3 раза по сравнению с применением обычного молотка.

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице.

Таблица

Результаты оценки времени устройства крепей при разных исходных условиях

Время τ , мин	Количество человек в спасательном расчете, x_1	Вид крепи*, x_2	Вид используемых средств механизации**, x_3
6,3	2	3	0
30,0	3	2	1
22,0	4	2	1
27,0	3	2	2
20,0	4	2	2
25,0	3	2	3
19,0	4	2	3
36,0	2	1	1
25,0	3	1	1
33,0	2	1	2
22,0	3	1	2
32,0	2	1	3
20,0	3	1	3

Примечания:

* – 1 – П-образная; 2 – Т-образная; 3 – колодец.

** – 1 – молоток; 2 – пневматический гвоздезабиватель; 3 – газовый гвоздезабиватель.

Установлена зависимость, позволяющая оценить время устройства крепи при проведении аварийно-спасательных работ в условиях разрушений зданий и сооружений:

$$\tau = -1,51x_1 - 7,23x_2 + 0,17x_3 + 40,22.$$

Минимизация времени нахождения спасателя в опасной зоне достигается также за счет обустройства площадки для подготовки материалов для крепей. Такая организация работ позволит сократить время на устройство крепей и даст возможность спасателям сосредоточить основные усилия именно на проведении аварийно-спасательных работ.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Для повышения безопасности личного состава расчетов спасателей, осуществляющих работу по укреплению неустойчивых конструкций с применением крепей, необходимо:

1. Включение в состав штатного оборудования аварийно-спасательных машин заготовок для изготовления крепей типа «Колодец» при обеспечении безопасного ведения работ на начальном этапе.

2. Формирование единой рабочей площадки по заготовке материала для устройства крепей в случае масштабных разрушений.

3. Применение при устройстве крепей средств механизации работ: пневмоинструмента, электро- и мотоинструмента.

4. Создание резерва материалов и инструмента для сокращения времени развертывания площадок по заготовке материала для устройства крепей,

что особенно актуально при массовых разрушениях от поражающих факторов природных чрезвычайных ситуаций (например, землетрясения) и при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов.

5. Применение для устройства крепей таких технологий установки и материалов, которые будут обеспечивать быстрый и безопасный демонтаж с целью сокращения времени на заготовку материалов за счет повторного применения уже имеющегося материала.

В статье представлены уточненные временные нормативы и нормативы заимствуемых трудозатрат при возведении крепей и обеспечении безопасного проведения аварийно-спасательных работ в условиях завалов, показана необходимость внедрения новых технологий, позволяющих сократить время нахождения спасателей в опасной зоне, тем самым обеспечив безопасное проведение работ.

Представленные практические рекомендации могут быть полезны в качестве распространения передового опыта среди спасателей реагирующих подразделений всех видов аварийно-спасательных служб.

Список литературы / References

1. Мясников, Д. В. Безопасность аварийно-спасательных работ / Д. В. Мясников, П. П. Петренко. – Химки : АГЗ МЧС России, 2018. – 288 с.

Myasnikov, D. V., Petrenko, P. P. *Bezopasnost avariyno-spasatelnykh rabot* [Safety of emergency rescue operations]. Khimki: AGZ of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2018. 288 p. (In Russian)

2. Формирование модели оценки защищенности спасателей при проведении аварийно-спасательных работ в условиях обрушений зданий и сооружений / П. П. Петренко, А. В. Рыбаков, Е. В. Иванов, А. Н. Терехов // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2024. – № 2(61). – С. 25–36.

Petrenko, P. P., Rybakov, A. V., Ivanov, E. V., Terekhov, A. N. *Formirovaniye modeli otsenki zashchishchyonnosti spasateley pri provedenii avariyno-spasatelnykh rabot v usloviyakh obrusheniy zdaniy i sooruzheniy* [Formation of a model for assessing the safety of rescuers during emergency rescue operations in conditions of collapses of buildings and structures]. *Nauchnyye i obrazovatelnyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2024, no. 2(61), pp. 25-36. (In Russian)

3. Ветошкин, А. Г. Тактика и технологии спасательных работ. Защита в чрезвычайных ситуациях / А. Г. Ветошкин. – Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2023.

Vetoshkin, A. G. *Taktika i tekhnologii spasatelnykh rabot. Zashchita v chrezvychainykh situatsiyakh* [Tactics and technologies of rescue operations. Protection in emergency situations]. Moscow, Vologda, Infra-Ingenieriya Publ., 2023. (In Russian)

4. Cone, D. Rescue from the rubble: Urban search and rescue. Prehospital emergency care : official journal of the National Association of EMS Physicians and the National Association of State EMS Directors. 2000, no. 4, 352-357. (In English)

5. Проблемы и пути совершенствования проведения аварийно-спасательных работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций : Сборник трудов секции № 2

XXXII Международной научно-практической конференции (Химки, 1 марта 2022 г.). – Химки : АГЗ МЧС России, 2022. – 142 с.

Problemy i puti sovershenstvovaniya provedeniya avariyno-spasatelnykh работ pri likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy. Sbornik trudov seksii no. 2 XXXII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Problems and ways to improve the conduct of emergency rescue operations in emergency situations. Proceedings of Section No. 2 of the XXXIII International Scientific and Industrial Complex (Khimki, March 01, 2022)]. Khimki: AGZ of the EMERCOM of Russia, 2022. 142 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук П. Е. Мухиным
Дата поступления рукописи 14.11.2024
Дата опубликования 19.12.2024

Pavel Pavlovich Petrenko, Associate Professor; e-mail: p.petrenko@agz.50.mchs.gov.ru;
Anatoly Valeriyevich Rybakov, Doctor of Tech. Sci., Professor, Professor of the Department of Higher Mathematics; e-mail: a.rybakov@agz.50.mchs.gov.ru;

Yevgeny Vyacheslavovich Ivanov, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor;
e-mail: e.ivanov@agz.50.mchs.gov.ru

Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia

141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, 1A, ulitsa Sokolovskaya. Phone: +7 (498) 699-05-59

Alexander Viktorovich Kuzmin, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor;

e-mail: avkuzmin16@gmail.com

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI

420111, Kazan, 15, ulitsa Tolstogo. Phone: +7 (909) 311-57-22

IMPLEMENTATION OF A METHODOLOGICAL APPROACH TO ASSESSING THE SAFETY OF RESCUERS DURING EMERGENCY RESCUE OPERATIONS BY INSTALLING FASTENERS

Objective. The study of techniques and methods of fastening when rescuing victims from rubble.

Methods. A comprehensive research method has been applied, including the analysis of literary sources, conducting theoretical and practical research using a system of equations.

Results. Practical recommendations are presented on the introduction of new technologies that reduce the time spent by rescuers in the danger zone to ensure safe work.

Scientific novelty. For the first time, theoretical data were used with a practical approach to assessing the safety of rescuers during emergency rescue operations by installing fasteners.

Practical significance. The presented practical recommendations can be useful as a dissemination of best practices among rescuers of responding units of all types of emergency services.

Key words: installation of fasteners; emergency rescue operations; collapse of buildings and structures; risk; hazards; protection.

For citation: Petrenko P. P., Rybakov A. V., Ivanov Ye. V., Kuzmin A. V. Implementation of a methodological approach to assessing the safety of rescuers during emergency rescue operations by installing fasteners. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, № 4(61), pp. 65-71. EDN: MEDV2D.

УДК 622.273:622.28

*Сергей Афанасьевич Мельников, ученый секретарь; e-mail: donugi2009@mail.ru
Леонид Николаевич Капран, зав. лабораторией; e-mail: leonidkapran@yandex.ru;
Вячеслав Никитович Кирин, ст. науч. сотр.; e-mail: kirin_v48@mail.ru;
Владислав Владимирович Литвинов, вед. инж.; e-mail: niirespirator.vestnik@mail.ru
Государственное бюджетное учреждение
«Донецкий научно-исследовательский угольный институт»
283048, Донецк, ул. Артема, 114. Тел.: +7 (949) 356-97-25*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК С ПРИМЕНЕНИЕМ КРЕПИ УСИЛЕНИЯ

Цель. Обосновать применение крепи усиления для повышения устойчивости горных выработок и безопасности труда рабочих.

Методы. Анализ и обобщение информации о состоянии горных выработок. Рассмотрены и изучены нормативно-методические документы, статьи, отчеты, информация угольных предприятий о состоянии горных выработок.

Результаты. Обосновано применение крепи усиления для безопасного поддержания подготовительных горных выработок.

Научная новизна. Научно обосновано технологическое решение задачи повышения устойчивости горных выработок путем модернизации конструкции крепи усиления.

Практическая значимость. Крепь усиления повысит безопасности труда при ведении горных работ и обеспечит устойчивое поддержание подготовительных горных выработок.

Ключевые слова: проходческий забой; подготовительные выработки; смещения пород; рабочее сопротивление крепи; крепи усиления; стойки трения.

Для цитирования: Мельников С. А., Капран Л. Н., Кирин В. Н., Литвинов В. В. Обеспечение устойчивого поддержания подготовительных выработок с применением крепи усиления // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 4(61). – С. 72–78. – EDN: QMYMAE.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Повышение эффективности работы угольной промышленности невозможно без обеспечения надежного крепления и поддержания горных выработок. Основные типы крепей, применяемых на шахтах, – рамные податливые крепи. Они состоят из несущих элементов, выполненных из спецпрофиля, соединенных узлами в виде нахлестки концов смежных элементов, сжимаемых посредством различных замков, например, хомутов со скобами, планками и гайками или безрезьбовых типа клиновых и эксцентриков [1].

Распространена податливая крепь с обратным сводом (авторское свидетельство СССР, № 972115 Е 21 В 11/14), включающая верхняк, стойки и лежень, который выполнен по тому же радиусу, что и верхняк, но в виде полуокружности с недогнутыми параллельными концами для присоединения к прямым вертикальным нижним концам стоек с помощью обычного податливого узла внахлестку с парой хомутов (со скобой, плоской планкой и гайками).

Однако опыт работы показывает, что с увеличением глубины наблюдается ухудшение горно-геологических условий. Несмотря на усовершенствование технологий проведения горных выработок, применение податливых крепей

большого сечения, увеличения плотности установки крепи, несущая способность и податливость известных крепей не обеспечивают их работоспособность в условиях сильного давления и значительного всестороннего смещения вмещающих пород (патент RU 94 032 816 A1 МПК E21D 11/14 (1995.01)). При этом устойчивость горных выработок обеспечивается не в полной мере. Как показывают результаты аналитических исследований состояния горных выработок, удельный объем выработок, не соответствующих требованиям нормативных документов по охране труда, составляет 13,5 %, а выработок с неудовлетворительным профилем рельсового пути – 40,3 %.

Также к мероприятиям по уменьшению смещения пород кровли относят точное оконтуривание проектной формы поперечного сечения штрека и заполнение закрепного пространства, что позволяет поддерживать породный массив и уменьшить конвергенцию [2].

Крепи выработки, расположенные вне зоны влияния очистных работ (стандартная столбовая система разработки с обратным порядком отработки выемочного участка), с учетом исследований [3] для уменьшения смещения пород кровли, могут быть усовершенствованы в части их крепления за счет применения крепи усиления.

Поэтому одно из направлений совершенствования горно-подготовительных работ – конструирование и модернизация крепи и ее элементов, что позволит повысить рабочее сопротивление крепи и улучшить технико-экономические показатели при проведении и поддержании горных выработок, а также повысить безопасность труда рабочих.

Результаты исследования. После окончания цикла выемки породы пространство выработки вблизи проходческого забоя становится практически незакрепленным. Кроме того, применяемая в настоящее время технология проведения подготовительных выработок на шахтах и их крепления допускает образование пустот за крепью, что приводит к образованию в кровле вблизи проходческого забоя зоны разрушенных пород. В таких условиях крепь начинает взаимодействовать с породами лишь на некотором расстоянии от забоя.

С целью установления влияния сопротивления крепи на смещения пород кровли в подготовительных выработках вне зоны влияния очистных работ на ряде шахт Донбасса с разными горно-геологическими условиями были проведены исследования, в ходе которых изменяли сопротивление крепи в пределах 200...800 кН. Такое изменение достигалось установкой на экспериментальных участках гидравлических стоек 2ГСК. Стойки упирались в кронштейны, которые были закреплены на верхних и стойках арочной крепи. При проведении выработок комбайнами невозможно было устанавливать стойки 2 ГСК непосредственно у забоя, поэтому их установили на расстоянии не ближе 4...5 м от него. Результаты экспериментов сравнили с наблюдениями на тех контрольных участках, на которых гидравлические стойки не устанавливали. Сопротивление арочной крепи на контрольных участках в среднем составляло 150 кН/раму [4].

Так, на шахте им. Е. Т. Абакумова в ходе этих исследований изучали влияние сопротивления крепи на устойчивость пород кровли в 5-м конвейерном штреке площадью сечения 11,2 м² в свету при его проведении комбайном избирательного действия по пласту m_5 мощностью 0,95...1,1 м. При этом выработку крепили крепью АП-3 с шагом 0,8 м между рамами. Штрек

проводили на глубине 720 м. В кровле залегал мелкослоистый глинистый сланец мощностью 8...10 м с коэффициентом крепости $f = 3$ по шкале Протодяконова.

На других шахтах с аналогичными технологическими условиями кровля пласта была представлена крупнослоистым глинистым сланцем с коэффициентом крепости $f = 3$ по шкале Протодяконова и мелкослоистым песчаным сланцем с коэффициентом крепости $f = 4,5$ по шкале Протодяконова.

На всех шахтах глубинные реперные станции оборудовали непосредственно у забоя выработки с установкой 5...8 реперов через 0,5...1,0 м.

Исследования показали, что деформирование пород кровли происходит в изменяющемся поле напряжений. При этом вблизи проходческого забоя напряжения нарастают до максимальных, а в дальнейшем уменьшаются в связи с их релаксацией.

Исследование позволило установить, что одна из основных особенностей деформирования кровли подготовительных выработок, проводимых комбайнами избирательного действия со скоростью 7...10 м/сут, – формирование непосредственно у забоя в первые сутки после проведения выработки зоны разрушенных пород из мелкослоистых глинистых и песчаных сланцев. В этом случае в 30...40 м от забоя выработки происходит 41...88 % всех смещений вне зоны влияния очистных работ. Зона разрушенных пород формируется при отсутствии взаимодействия крепи с породами кровли на расстоянии 7 м от забоя. Размер этой зоны достигает 4 м, а зоны неупругих деформаций – 6 м.

Исследования, проведенные на других шахтах, показали, что при залегании в кровле крупнослоистых глинистых сланцев разрушение пород начинается на удалении 27...41 м от забоя, а размер зоны достигает 2 м.

Смещение пород кровли зависит от сопротивления крепи на разном расстоянии от забоя исследуемой выработки на шахте им. Е. Т. Абакумова.

Графики (рис. 1) показывают, что на расстоянии менее 4 м от забоя смещения пород кровли незначительно отличаются при различных сопротивлениях крепи. На расстоянии 10 м от забоя смещения на контрольном участке при сопротивлении крепи были в 3,3 раза выше, чем на таком же расстоянии от забоя, но при сопротивлении крепи 800 кН, а максимальные значения смещения – больше в 4,5 раза.

Аналитически установлено, что при сопротивлении крепи 800 кН максимальные смещения были на 127 мм меньше, чем на контрольном участке, и на 28 мм меньше, чем при сопротивлении 400 кН. Исследования смещения пород кровли показали, что уменьшение смещения пород кровли наблюдается на каждом шаге увеличения сопротивления крепи: 200, 400, 600, 800 кН. Каждое последующее увеличение сопротивления крепи на 200 кН уменьшает смещение пород кровли на 13...15 %.

Установлено, что при залеганиях в кровле мелкослоистых глинистых и песчаных сланцев после формирования зоны разрушения пород увеличение сопротивления крепи от 150 до 800 кН снижает смещение кровли на 56...78 %. При залегании в кровле крупнослоистых глинистых сланцев такое же увеличение сопротивления крепи (при условии, что крепь устанавливают до начала формирования зоны разрушенных пород) уменьшает смещение на 82 %.

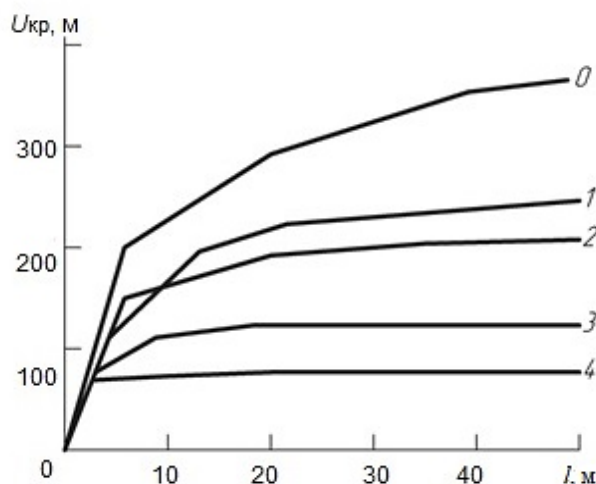


Рис. 1. Зависимость смещений пород кровли $U_{кр}$ в 5-м восточном конвейерном штреке пл. m_5 на шахте им. Е. Т. Абакумова от расстояния l от забоя выработки при различных сопротивлениях крепи:
0 – на контрольном участке; 1, 2, 3, 4 – при сопротивлении крепи, равном соответственно 200, 400, 600, 800 кН

Следовательно, с целью максимального уменьшения смещений пород кровли при минимальном сопротивлении крепи необходимо предотвратить образование зон разрушенных пород и своевременно устанавливать крепь повышенного сопротивления. Уменьшение смещений пород кровли может быть обеспечено применением временных усиливающих крепей на участках выработок длиной около 30 м вблизи проходческого забоя. Такая временная крепь усиления должна иметь сопротивление при залеганиях в кровле мелкослоистых глинистых и песчанистых сланцев 600...800 кН; при крупнослоистых глинистых сланцах – 400 кН (при большем сопротивлении крепи будет наблюдаться деформация профиля). В настоящее время в качестве штрековой усиливающей крепи применяют деревянные стойки диаметром 20 см или стойки из профиля СВП.

Металлическая усиливающая крепь выполнена из двух отрезков профиля СВП, соединенных между собой замковым соединением, вверху к стойке прикреплен поддерживающий элемент, входящий в зацепление с верхняком арочной крепи (рис. 2). Задача усиливающей крепи – перераспределение нагрузки основной арочной крепи и обеспечение ее податливости и устойчивости (патент RU 92 007 399 МПК E21D 11/14 (1995.01)).

Несущая способность деревянной стойки диаметром 20 см при длине 2,0...2,5 м составляет 200 кН [5]. Суммарное рабочее сопротивление стойки усиления из профиля СВП с замками ЗПК15М составляет 135 кН, а с замками АПЗ.030 – 100 кН.

Применение стоек усиления решает следующие технические и технологические задачи:

- расширить область применения крепи в зависимости от литологии вмещающих выработку пород;
- обеспечить более полный контакт арочной крепи с породным массивом после ее возведения (создать систему «крепь – массив») для уменьшения смещения вмещающих пород и улучшения устойчивости горных выработок.

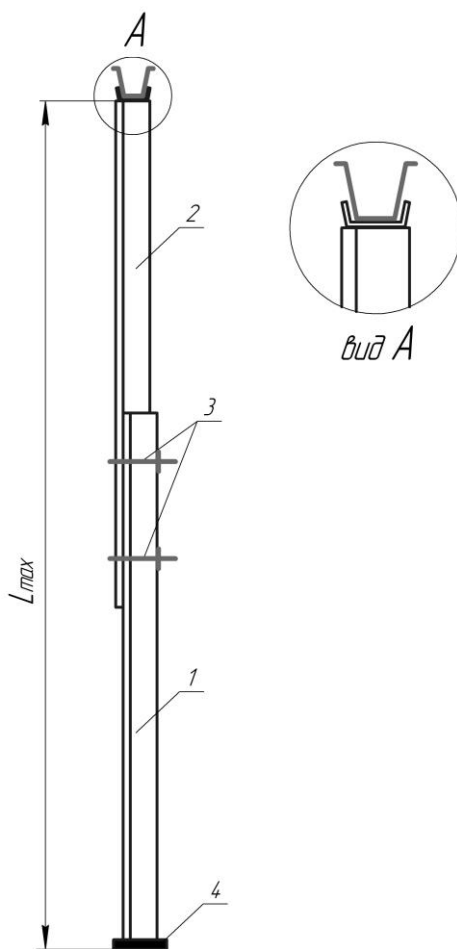


Рис. 2. Вариант стойки усиления крепи подготовительной выработки:

- 1 – нижний отрезок профиля СВП с опорным башмаком (4);
- 2 – верхний отрезок профиля СВП с вариантами конструктивного исполнения контактной группы с верхняком крепи подготовительной выработки;
- 3 – замок крепления призабойной стойки к нижней стойке из профиля СВП типа АПЗ.030;
- 4 – опорный башмак нижней стойки

Выводы. Научно обосновано технологическое решение задачи повышения устойчивости горных выработок путем применения крепи для устойчивого их поддержания позволит повысить безопасность труда при ведении горных работ.

Исследования смещения пород кровли показали, что уменьшение смещений пород кровли наблюдается на каждом шаге увеличения сопротивления крепи: 200, 400, 600, 800 кН. Каждое последующее увеличение сопротивления крепи на 200 кН уменьшает смещение пород кровли на 13...15 %.

С целью максимального уменьшения смещений пород кровли при минимальном сопротивлении крепи, для предотвращения образования зон разрушенных пород необходимо своевременно устанавливать крепь усиления.

Для уменьшения смещений пород кровли в выработках, расположенных вне зоны влияния очистных работ, и увеличения несущей способности основной крепи выработки рекомендуется вблизи проходческого забоя на расстоянии около 30 м применять крепь усиления. Такая временная крепь усиления позволяет, в зависимости от литологии вмещающих выработку пород, обеспечить повышенную несущую способность крепи для мелкослоистых

глинистых и песчаных сланцев 600...800 кН, а для крупнослоистых глинистых сланцев – не менее 400 кН.

Стойка усиления позволяет обеспечить рабочее сопротивление крепи выработок в зависимости от горно-геологических условий и расширить область применения крепи подготовительных выработок типа КМП-АЗ.

Список литературы / References

1. Гелескул, М. Н. Справочник по креплению капитальных подготовительных выработок / М. Н. Гелескул, В. Н. Каретников. – Москва : Недра, 1982. – 479 с.

Geleskul, M. N., Karetnikov, V. N. *Spravochnik po krepleniyu kapitalnykh podgotovitelnykh vyrabotok* [Handbook on fixing capital preparatory workings]. Moscow, Nedra, 1982, 479 p. (In Russian)

2. Эде, Х. Концевые участки лав, комплексные системы и их взаимосвязь / Х. Эде // Глюкауф Майнинг Репорт. – 1986. – № 3. – С. 35–40.

Ede, H. *Kontsevyue uchastki lav, kompleksnyye sistemy i ikh vzaimosvyaz* [End sections of love, complex systems and their interrelation]. *Glucauf Mining Report*, 1986, no. 3, pp. 35-40. (In Russian)

3. Черняк, И. Л. Влияние сопротивления крепи на устойчивость кровли подготовительных выработок / И. Л. Черняк, И. В. Крылов // Уголь. – 1985. – Ноябрь. – С. 9–11.

Chernyak, I. L., Krylov, I. V. *Vliyanie soprotivleniya krepі na ustoychivost krovli podgotovitelnykh vyrabotok* [The influence of support resistance on the stability of the roof of preparatory workings]. *Ugol*, 1985, November, pp. 9-11. (In Russian)

4. Отчет НИР «Разработать типоряд крепей усиления для поддержания подготовительных выработок в зонах их сопряжений с очистными забоями на базе повторно используемых металлических рамных крепей из спецпрофиля типа СВП». – Донецк : ГБУ «ДОНУГИ», 2019.

Otchet NIR "Razrabotat tiporyad krepey usileniya dlya podderzhaniya podgotovitelnykh vyrabotok v zonakh ikh sopryazheniy s ochistnymi zaboyami na baze povtorno ispolzuemykh metallicheskih ramnykh krpey I spetsprofilya tipa SVP" [The research report "To develop a type range of reinforcement supports to maintain preparatory workings in the areas of their interfaces with the treatment faces on the basis of reusable metal frame supports from a special profile of the SVP type"]. Donetsk, GBU "DONUGI", 2019. (In Russian)

5. Указания по рациональному расположению и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Ленинград : ВНИМИ, 1985. – 222 с.

Ukazaniya po ratsionalnomu raspolozheniyu i podderzhaniyu gornyx vyrabotok na ugolnykh shakhtakh SSSR [Instructions on the rational location and maintenance of mining operations in the coal mines of the USSR]. Leningrad, VNIMI, 1985. 222 p. (In Russian)

Sergey Afanasyevich Melnikov, scientific secretary; e-mail: donugi2009@mail.ru;
Leonid Nikolaevich Kapran, head of the laboratory; e-mail: leonidkapran@yandex.ru;
Vyacheslav Nikitovich Kirin, senior scientific associate; e-mail: kirin_v48@mail.ru;
Vladislav Vladimirovich Litvinov, principle engineer; email: niirespirator.vestnik@mail.ru
State Budget Institution "Donetsk Scientific Research Coal Institute"
283048, Donetsk, ulitsa Artyoma, 114. Phone: +7 (949) 356-97-25

THE ENSURING OF THE SUSTAINABLE MAINTENANCE OF PREPARATORY MINE WORKINGS WITH THE USE OF REINFORCEMENT SUPPORTS

Object. The justification of the use of reinforcement supports in the maintenance of preparatory mine workings to improve the safety of workers.

Methods. The analysis and generalization of information on the state of mine workings have been used. Regulatory and methodological documents, articles, reports, and information from coal enterprises on the state of mine workings have been reviewed and studied.

Results. The justification for the use of reinforcement supports for the safe maintenance of preparatory mine workings has been carried out.

Scientific novelty. The scientifically grounded technological solution of the task of increase of stability of mine workings by modernization of strengthening support is offered.

A scientifically based technological solution to the problem of increasing the stability of mine workings by modernizing the reinforcement support structure is proposed

Practical significance. The implementation of reinforcement supports to ensure the effective maintenance of preparatory mine workings and improve occupational safety during mining operations.

Keywords: *tunneling face; preparatory workings; rock displacements; working resistance of the support; reinforcement supports; friction props.*

For citation. Melnikov S. A., Kapran L. N., Kirin V. N., Litvinov V. V. The ensuring of the sustainable maintenance of preparatory mine workings with the use of reinforcement supports. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, vol. 4(61), pp. 72-78. EDN: QMYMAE.

III. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

УДК [614.8:504.5]:[622.012.2:005.416]

Валерий Владимирович Мамаев, д-р техн. наук, гл. науч. сотр.; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru
Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

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

Екатерина Руслановна Костюк, студент магистратуры; e-mail: kostyuk.e.r-izos-4@donnasa.ru

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования

«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

286123, Макеевка, ул. Державина, 2. Тел.: +7 (949) 429-96-81

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ КОНСЕРВАЦИИ И ЗАКРЫТИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Цель. Применение системного подхода к определению негативных последствий консервации и закрытия угольных шахт для оценки экологического риска и разработки мероприятий по его снижению.

Методы. Использован системный подход и вероятностно-статистический метод определения количественного значения экологического риска.

Результаты. Разработаны алгоритмы оценки негативных последствий консервации и закрытия угольных шахт на основе определения риска возникновения чрезвычайной ситуации и экологических последствий.

Научная новизна. Предложен системный подход к оценке экологического риска, отличающийся от известных учетом негативных факторов различных категорий и эмпирического метода оценки экономического ущерба последствий загрязнения окружающей среды.

Практическая значимость. Результаты исследований могут быть использованы для снижения риска возникновения негативных последствий консервации угольных шахт и экологической безопасности в регионе.

Ключевые слова: системный подход; экологический риск; вероятность последствий; закрытие и консервация шахт; окружающая среда.

Для цитирования: Мамаев В. В., Костюк Е. Р. Экологическая оценка последствий консервации и закрытия угольных шахт // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 4(61). – С. 79–85. – EDN: SLAPWL.

Постановка проблемы. Предприятия угольной отрасли при консервации и закрытии являются источником негативного воздействия на окружающую природную среду вследствие загрязнения атмосферного воздуха, водных объектов, а также нарушения поверхностного слоя земли. Оценка таких последствий, вероятность их возникновения на конкретном предприятии и определение затрат на проведение мероприятий по обеспечению экологической безопасности непосредственно связаны с количественным и качественным определением экологического риска.

Анализ последних исследований и публикаций. Охрана окружающей среды и обеспечение экологической безопасности угледобывающих предприятий включает широкий комплекс проблем, в том числе инженерно-технические, организационные, государственно-правовые и другие. Особенно актуален этот вопрос при закрытии или консервации шахт, прекращении проветривания

и затоплении горных выработок, что способствует увеличению выделения вредных газов на земную поверхность, в здания и сооружения. Источником выделения этих газов являются изолированные отработанные выработанные пространства, в полостях обрушения которых произошло накопление газов. Это приводит к возможности воспламенения и взрыва метана, травмирования людей. В местах газовыделения наблюдались повышение температуры почвы и изменение ее структуры, непригодной для земледелия, выгорание растительности. Концентрация метана в некоторых жилых домах и погребах может достигать опасных значений [1–5].

Эколого-инженерной проблемой также является влияние породных отвалов закрывающихся шахт на состояние окружающих объектов среды, природного ландшафта. При открытом горении таких отвалов в атмосферный воздух попадают оксиды и диоксиды углерода, оксиды азота, серы и других загрязняющих веществ, концентрации которых в десятки раз превышают предельно допустимые нормы [6, 7].

Цель исследования – применение системного подхода к определению последствий консервации и закрытия угольных шахт для оценки экологического риска и разработки мероприятий по его снижению.

Материалы и результаты исследования. В общем виде последствия консервации закрытия угольных шахт можно представить в виде блок-схемы [7] техногенных процессов, вызывающих негативные последствия и воздействия на экологическую среду (рис.). Эти последствия в общем виде распределены на пять категорий: гидрохимические, гидрогеологические, газохимические, инженерно-геологические, инженерно-сейсмические [8].



Рис. Блок-схема негативных воздействий закрытия и консервации угольных шахт и воздействия их на экологическую среду

Обзор научных публикаций и действующих руководящих документов показывает, что под экологическим риском неблагоприятного для окружающей среды события понимают не только вероятность этого события, но все его возможные последствия (ущерба).

В общем виде наиболее распространенную меру экологического риска можно выразить количественным показателем по формуле

$$R = \sum_{i=1}^n p_i \cdot W_i, \quad (1)$$

где p_i – ожидаемая частота наступления неблагоприятного события i -го в течение определенного времени, год⁻¹;

W_i – величина ожидаемого ущерба от данного события, руб.;

n – количество возможных вариантов развития события (сценариев аварии).

Методики по расчету риска разнообразны, потому что они разработаны для совершенно разных технологических систем. Экологический риск невозможно исследовать отдельно от техногенного, и наоборот, техногенный от экологического (аварии на опасном объекте с загрязнением окружающей среды). Техногенный риск представляет собой обобщенную характеристику возможности реализации опасности в техногенной сфере, определяемую как вероятность возникновения техногенной аварии и математическое ожидание негативных последствий от нее.

Количественную оценку экологического риска для каждой категории запишем в виде

$$R_j = \sum_{i=1}^n p_{ji} \cdot W_{ji}, \quad (2)$$

где R_j – количественная оценка экологического риска j -й категории последствий в течение года, руб./год;

p_{ji} – вероятность возникновения i -го опасного последствия для окружающей среды в j -й категории, год⁻¹;

W_{ji} – ожидаемый ущерб при возникновении i -й опасности в j -й категории, руб.;

n – число возможных последствий в j -й категории.

Необходимо отметить, что разделение последствий по категориям при консервации или ликвидации шахт является условным, они могут проходить (возникать, случаться, происходить?) параллельно или последовательно.

Тогда в общем виде оценку экологического риска для различных комбинаций последствий можно записать в виде

$$R = \bigcup_{j=1}^5 R_j = \bigcup_{j=1}^5 \sum_{i=1}^n p_{ji} \cdot W_{ji}. \quad (3)$$

Исходя из значения экологического риска R можно оценивать приемлемость и повышенную опасность видов деятельности с возможными аварийными ситуациями и неблагоприятными последствиями для окружающей среды, осуществлять управление экологическим риском путем разработки необходимых мероприятий по его снижению, а также принятие решений по вопросам обеспечения экологической безопасности [8–11].

Одной из главных задач оценки экологического риска является определение экономического ущерба от загрязнения окружающей среды для определенного вида последствия закрытия или консервации шахты. Это связано прежде всего

с определением затрат на проведение мероприятий по охране и восстановлению окружающей природной среды предприятиями угольной отрасли [7].

В статье авторами рассмотрено несколько методов расчета данного ущерба: прямого счета, расчета по «мони-загрязнению», обобщенных косвенных оценок, эмпирический [7, 12]. Различают полный годовой экономический ущерб от загрязнения и отдельного источника загрязнения атмосферного воздуха, водных и земельных ресурсов, и другие.

Анализ данных методов оценки экономического ущерба от загрязнения окружающей среды показывает, что эмпирический метод, хоть и является приближенным, более гибок и учитывает значительное количество факторов от отдельного источника загрязнения [7]. Экономический ущерб от отдельного источника загрязнения в год рассчитывают по формуле

$$W_{\text{ист}} = \sum_{i=1}^5 W_i \alpha_i, \quad (4)$$

где W_1 – удельный экономический ущерб от загрязнения в год, руб.;

W_2 – удельный экономический ущерб от загрязнения водных источников в год, руб.;

W_3 – удельный экономический ущерб от загрязнения земельных ресурсов в год, руб.;

W_4 – удельный экономический ущерб от загрязнения недр в год, руб.;

W_5 – удельный экономический ущерб от загрязнения от размещения отходов (породных отвалов) в год, руб.;

α_i – поправочные коэффициенты для степени достоверности укрупненного метода.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Результаты выполненных исследований позволяют научно обосновать выбор математической модели оценки и категорирования экологического риска загрязнения окружающей среды вследствие консервации и закрытия шахт для разработки на основе действующих нормативно-правовых документов мероприятий по обеспечению экологической безопасности в регионе.

Список литературы / References

1. Исследование проблем техногенной безопасности на ликвидируемых шахтах ДНР / В. В. Мамаев, А. Ф. Иваненко, П. Е. Мухин, Л. М. Попова // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2022. – № 2(59). – С. 94–102.

Mamaev, V. V., Ivanenko, A. F., Muhin, P. E., Popova, L. M. *Issledovanie problem tehnogennoj bezopasnosti na likvidiruemy'h shahtah DNR* [Investigation of the problems of technogenic safety in the liquidated mines of the DPR]. *Nauchnyj vestnik NII «Respirator»*, 2022, no. 2(59). pp. 94-102. (In Russian)

2. Оценка воздействия процессов ликвидации угольных шахт на экологическую ситуацию в российском Донбассе / М. Д. Молев, С. А. Масленников, И. А. Зинина, А. Г. Илиев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 7. – С. 148–157.

Molev, M. D., Maslennikov, S. A., Zinina, I. A., Iliev, A. G. *Ocenka vozdejstviya processov likvidacii ugol'ny'h shaht na e'kologicheskuyu situaciyu v rossijskom Donbasse* [Assessment of the impact of coal mine liquidation processes on the environmental situation in the Russian Donbas]. *Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2018. no. 329(7), pp. 148-157. (In Russian)

3. Косов, О. И. Оценка экологической безопасности территорий горных отводов ликвидируемых шахт Восточного Донбасса : специальность 25.00.36 «Геоэкология» (по отраслям) : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Косов Олег Иванович. – Тула, 2010. – 140 с. Место защиты: Тульский государственный университет.

Kosov, O. I. *Ocenka e'kologicheskoy bezopasnosti territorij gorny'h otvodov likvidiruemy'h shaht Vostochnogo Donbassa* [Assessment of the environmental safety of the territories of mining branches of the liquidated mines of the Eastern Donbass : 25.00.36 «Geoecology» (by Sector) : Candidate of Technical Sciences dissertation / Oleg Ivanovich Kosov]. Tula, 2010, 140 p. Place of thesis defence : Tula State University. (In Russian)

4. Симонов, А. М. Мониторинг газовой обстановки на горных отводах, в зданиях и сооружениях / А. М. Симонов, Н. В. Карнаух, Ал. В. Агарков // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2021. – № 4(58). – С. 65–76.

Simonov, A. M., Karnaukh, N. V., Agarkov, Al. V. *Monitoring gazovoj obstanovki na gorny'h otvodah, v zdaniyah i sooruzheniyah* [Monitoring of the gas situation in mining branches, buildings and structures]. *Nauchny'j vestnik NII «Respirator»*, 2021, no. 4(58), pp. 65-76. (In Russian)

5. Солдатов, В. И. Закрытие шахт – государственная проблема / В. И. Солдатов, В. П. Гонтаревский, Л. М. Брайнин // Уголь Украины. – 1997. – № 1. – С. 32–35.

Soldatov, V. I., Gontarevskij, V. P., Brajnin, L. M. *Zakry'tie shaht – gosudarstvennaya problema* [The closure of mines is a state problem]. *Ugol' Ukrainy'*, 1997, no. 1, pp. 32-35. (In Russian)

6. Гребенкин, С. С. Влияние породных отвалов закрывающихся шахт на состояние объектов окружающей среды / С. С. Гребенкин, Д. С. Буряк, Е. Н. Розанова // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2016. – № 1(53). – С. 74–81.

Grebenkin, S. S., Buryak, D. S., Rozanova, E. N. *Vliyanie porodny'h otvalov zakry'vayushhihsya shaht na sostoyanie ob'`ektov okruzhayushhej sredy`* [The influence of rock dumps of closing mines on the state of environmental objects]. *Nauchny'j vestnik NII «Respirator»*, 2016, no. 1(53), pp. 74-81. (In Russian)

7. Гребенкин, С. С. Экономический ущерб от загрязнения окружающей среды предприятиями угольной промышленности / С. С. Гребенкин, Е. В. Кравченко, Д. С. Буряк // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2017. – № 3(54). – С. 91–104.

Grebenkin, S. S., Kravchenko, E. V., Buryak, D. S. *E'konomicheskij ushherb ot zagryazneniya okruzhayushhej sredy` predpriyatiyami ugol'noj promy'shlennosti* [Economic damage from environmental pollution by coal industry enterprises]. *Nauchny'j vestnik NIIGD «Respirator»*, 2017, no. 3(54), pp. 91-104. (In Russian)

8. Иваненко, А. Ф. Модель оценки экологического риска при ликвидации и консервации угольных шахт / А. Ф. Иваненко, П. Е. Мухин // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 3(60). – С. 58–68.

Ivanenko, A. F., Mukhin, P. E. *Model` ocenki e`kologicheskogo riska pri likvidacii i konservacii ugol`ny`h shaht* [A model for assessing environmental risk in the liquidation and conservation of coal mines]. *Nauchny`j vestnik NII «Respirator»*, 2023, no. 3(60), pp. 58-68. (In Russian)

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

Ivanenko, A. F., Muhin, P. E. *Ocenka e`kologicheskogo riska pri likvidacii i konservacii ugol`ny`h shaht DNR* [Environmental risk assessment during the liquidation and conservation of DNR coal mines]. *Nauchny`j vestnik NII «Respirator»*, 2023, no. 1(60), pp. 106-113. (In Russian)

10. Ваганов, П. А. Экологические риски / П. А. Ваганов, М.-С. Им. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУ, 2001. – 152 с.

Vaganov, P. A., Im, M.-S. *E`kologicheskie riski* [Environmental risks]. *Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo SPbGU*, 2001, 152 p. (In Russian)

11. Биненко, В. И. Риски и экологическая безопасность природно-хозяйственных систем СПбГУ / В. И. Биненко, В. К. Донченко, В. В. Растоскуев. – СПб., 2012. – 352 с.

Binenko, V. I., Donchenko, V. K., Rastoskuev, V. V. *Riski i e`kologicheskaya bezopasnost` prirodno-hozyajstvenny`h sistem* [Risks and environmental safety of natural and economic systems]. *SPb.*, 2012, 352 p. (In Russian)

12. Исследование и оценка воздействия угольной шахты на окружающую среду / А. Е. Воробьев, В. С. Побыванец, Е. В. Чекушина, Ж. Ю. Абдулатипов, А. Роман, А. В. Синченко // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2011. – № 4. – С. 75–79.

Vorob`ev, A. E., Poby`vanecz, V. S., Chekushina, E. V., Abdulatipov. Zh. Yu., Roman, A., Sinchenko, A. V. *Issledovanie i ocenka vozdejstviya ugol`noj shahty` na okruzhayushhuyu sredu* [Investigation and assessment of the environmental impact of a coal mine]. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby` narodov. Seriya: Inzhenerny`e issledovaniya*, 2011, no. 4, pp. 75-79. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 27.11.2024
Дата опубликования 19.12.2024

Valery Vladimirovich Mamaev, Doctor of Technical Sciences, chief scientific officer;
e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru
Federal State Government Institution
"Scientific Research Institute "Respirator" of the Ministry of Emergency Situations of Russia"
283048, Donetsk, Artyom str., 157. Tel.: +7 (856) 332-78-49
Ekaterina Ruslanovna Kostyuk, a graduate student; e-mail: kostyuk.e.r-izos-4@donnasa.ru
Federal State Educational Institution of Higher Education
"Donbass National Academy of Construction and Architecture"
286123, Makeyevka, Derzhavina str., 2. Tel.: +7 (949) 429-96-81

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES OF CONSERVATION AND CLOSURE OF COAL MINES

Objective. Applying a systematic approach to determining the negative consequences of the conservation and closure of coal mines to assess environmental risk and develop measures to reduce it.

Methods. A systematic approach and a probabilistic-statistical method for determining the quantitative value of environmental risk were used.

Results. Algorithms have been developed to assess the negative consequences of the conservation and closure of coal mines based on determining the risk of an emergency and environmental consequences.

Scientific novelty. A systematic approach to environmental risk assessment is proposed, which differs from the known ones by taking into account negative factors of various categories and an empirical method for assessing the economic damage caused by environmental pollution.

Practical value. The research results can be used to reduce the risk of negative consequences of coal mine conservation and environmental safety in the region.

Keywords: *systematic approach; environmental risk; probability of consequences; closure and conservation of mines; environment.*

For citation. Mamaev V. V., Kostyuk E. R. Environmental assessment of the consequences of conservation and closure of coal mines. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, vol. 4(61), pp. 79-85. EDN: SLAPWL.

УДК 661.833`024+661.856*Валерий Васильевич Шаповалов, д-р хим. наук, профессор, зав. отд.;**e-mail: wwwshapovalov@gmail.com;**Сергей Владимирович Журавлев, мл. науч. сотр.; e-mail: serezha.zhuravlev.1111@mail.ru;**Алина Анатольевна Берестовая, науч. сотр.; e-mail: berestova865@gmail.com**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение**«Научно-исследовательский институт «Реактивэлектрон»**283049, г. Донецк, ул. Бакинских комиссаров, 17а. Тел.: +7 (949) 320-64-60*

УТИЛИЗАЦИЯ ПЕРОКСИДНЫХ КОМПОНЕНТОВ СРЕДСТВ РЕГЕНЕРАЦИИ ВОЗДУХА С ПОЛУЧЕНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Цель. Определить возможность использования отходов пероксидных составляющих средств регенерации воздуха для разработки технологии получения оксидных соединений цветных металлов.

Методы исследования базируются на использовании фундаментальных положений химической термодинамики для определения энергетических характеристик реакций и общепринятых экспериментальных способах изучения твердофазных реакций.

Результаты. Теоретически и экспериментально установлена возможность применения деградированных пероксидных соединений средств регенерации воздуха для получения функциональных соединений меди. Установлено, что наличие в продуктах деградации пероксидных соединений натрия гидроксида натрия существенно не влияет на возможность их использования в синтезе оксидных соединений меди. Ограничения использованию представляют карбонаты щелочных металлов.

Научная новизна. Впервые получены данные о твердофазных химических взаимодействиях в системе $\text{CuSO}_4\text{--Na}_2\text{O}_2\text{--NaOH--Na}_2\text{CO}_3$.

Практическая значимость. Показана возможность эффективной утилизации пероксидных соединений и продуктов их деградации в химико-технологической практике.

Ключевые слова: пероксидные соединения, деградация, утилизация, пероксид натрия, сульфат меди, оксид меди, купрат натрия, термический анализ.

Для цитирования: Шаповалов В. В., Журавлев С. В., Берестовая А. А. Утилизация пероксидных компонентов средств регенерации воздуха с получением функциональных медьсодержащих материалов // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 4(61). – С. 86–96. – EDN: MMVXXM.

Постановка проблемы. На реакциях взаимодействия диоксида углерода и воды с пероксидными соединениями, такими как KO_2 , NaO_2 , Na_2O_2 , основана работа большинства, как индивидуальных химических средств регенерации воздуха [1], так и изолированных объектов [2]. Пероксиды взаимодействует с водяным паром и диоксидом углерода с образованием карбонатов и гидроксидов щелочных металлов и, соответственно, кислорода. При эксплуатации и длительном хранении, повреждении аппаратуры или частичном использовании их ресурса происходит деградация пероксидных соединений с образованием в регенеративных продуктах гидроксидов и карбонатов, которые ограничивают их дальнейшее применение. Накопление соединений с химически связанным кислородом в производстве или в местах хранения и использования может вызвать непредсказуемые последствия вплоть до пожаров и взрывов. Возникает проблема их утилизации эффективной с экономической, технологической и экологической позиции.

Анализ последних исследований. Используемый ранее способ обезвреживания средств регенерации методом сжигания является нерациональным. В работе [3] анализируется ряд способов обезвреживания продуктов деградации пероксидных соединений. В работе [4] предложена технология утилизации компонентов самоспасателей растворами соляной кислоты. Образующиеся хлориды щелочных металлов предлагается использовать для очистки дорог от наледи. В статье [5] предлагается использовать отходы химических компонентов самоспасателей для снижения карбонатной жесткости воды. При наличии в отходах остаточных пероксидных соединений помимо умягчения воды будет протекать ее обеззараживание образующимся кислородом и пероксидом водорода.

Исходя из стоимости пероксидных соединений, предлагаемые способы, вероятно, целесообразно использовать при значительной степени превращения регенеративного продукта в карбонат и/или гидроксид щелочного металла. Если исходить из стоимости пероксидных соединений, которая находится в диапазоне от 3...5 тыс. руб./кг для Na_2O_2 и около 12...15 тыс. руб./кг для KO_2 , использование регенеративного продукта с малой степенью деградации для получения реагентов для очистки дорог или умягчения воды представляется нецелесообразным. Глубоко деградированный продукт, содержащий в основном карбонаты и гидроксиды щелочных, по цене приближается к обычным средствам умягчения воды, таких как сода или известь, а обработка воды приближается к экономически целесообразному методу.

На основе тщательного анализа способов обезвреживания и утилизации регенеративных продуктов сделан вывод, что наиболее перспективным направлением утилизации пероксидных соединений и продуктов их деградации является их использование в химической промышленности, в частности, в производстве мыла, некоторых красителей, в медицине, в производстве калийных удобрений [6].

Регенеративный продукт с истекшим сроком хранения может быть использован повторно после обязательного его гранулометрического анализа с отсевом пыли [6]. Деградированные в малой степени или с истекшим сроком хранения регенеративные продукты, а также отсев пыли целесообразно использовать в технологиях получения соединений с высокой добавленной стоимостью. К таким соединениям относятся оксиды цветных металлов, ферриты $\text{MeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ и шпинели $\text{MeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, где Me – магний, кобальт, никель, кадмий, цинк и др.

Особый интерес представляют наноразмерные порошки, стоимость отдельных видов которых доходит до 80 тыс. руб./кг. В [7] предложена принципиальная схема получения магнитного порошка феррита никеля NiFe_2O_4 при сжигании смеси сульфатов железа и никеля с пероксидными компонентами средств регенерации воздуха. В [8] установлено, что все пероксидные соединения щелочных металлов, содержащиеся в регенеративных продуктах, способны в режиме горения реагировать с солями цветных металлов с образованием соответствующих оксидов. Взаимодействие протекает в режиме горения, и нет необходимости использовать в технологии энергоемкие высокотемпературные печи. Из оксидов цветных металлов широкое применение находит оксид меди(II) – CuO , способам получения малоразмерных частиц которого уделяется существенное внимание (см. патенты RU 2121973 «Способ получения оксида меди», RU 2442751 «Способ получения наноразмерных частиц оксида меди»). Он находит применение для очистки газовых

смесей от оксида углерода в системах защиты органов дыхания, в производстве вискозы, люминофоров и сухих аккумуляторных элементов. CuO используется также при изготовлении солнечных панелей и искусственного шелка, является абразивом для полировки оптического оборудования, добавляется в комбикорма животных.

Для развития новых технологий интерес представляют купраты щелочных металлов общей формулой ACuO_2 [9]. Они используются в качестве термоэлектрических преобразователей, при синтезе высокотемпературных сверхпроводников. Один из способов их получения состоит в использовании порошков супероксида калия KO_2 и смеси порошков меди и оксида меди. Взаимодействие осуществляют в режиме горения (патент RU 2064912 «Способ получения оксокупратов щелочных металлов»). Интерес представляет также получение с помощью пероксидных соединений феррита меди [10].

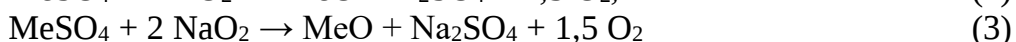
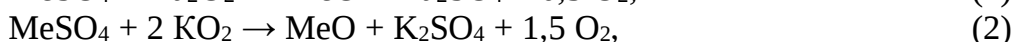
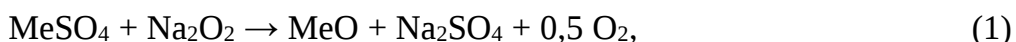
Цель работы. Определить диапазон использования отходов пероксидных составляющих средств регенерации воздуха для разработки технологии получения оксидных соединений меди: оксида меди и купрата натрия.

Методы и методики исследования. В качестве реагентов использовался сульфат меди и пероксид натрия с разной степенью деградации после контакта его с атмосферой. Степень деградации пероксида натрия оценивалась по содержанию активного кислорода в образцах. Кислород определялся волюмометрическим методом путем разложения навесок образцов пероксида натрия 0,5 %-м водным раствором сульфата меди, как катализатора.

Сульфат меди обезвоживали в вакуумно-сушильном шкафу при постепенном увеличении температуры от 80 до 300 °С. Смеси сульфатов меди и перекиси натрия готовили в изолированном от атмосферы боксе и затем прессовали при давлении 1500 кг/см². Полученные цилиндрические образцы сжигали, инициируя горение высокотемпературным источником, воздействующим на торец образцов. По времени горения и высоты образцов оценивали линейную скорость горения. Продукты горения измельчали, усредняли и отмывали от растворимых соединений реакции в центрифуге Liston C2202. Твердый остаток реакции сушили в вакууме при температуре 105 °С до постоянного веса. В работе использовали методы дифференциально-термического и термогравиметрического анализа. Фазовый состав продуктов реакции определяли с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН 1УМ.

Авторы благодарны инженеру Е. Ю. Капитанчук и мл. науч. сотр. А. В. Каре за анализ образцов пероксида натрия.

Результаты и их обсуждение. Исходя из химических свойств оксидных соединений щелочных металлов, устойчивыми являются оксид лития Li_2O , пероксид натрия Na_2O_2 , и супероксиды калия KO_2 , рубидия RbO_2 и цезия CsO_2 [11]. В целом с увеличением молекулярной массы щелочного металла устойчивость форм более богатых кислородом возрастает. Термодинамические характеристики реакций пероксида натрия и супероксидов калия и натрия с солями двухвалентных металлов



очень близки (табл. 1), что позволяет распространить полученные результаты на способы утилизации и таких компонентов химических средств регенерации, как KO_2 и NaO_2 . Реакции (1) – (3) сопровождаются выделением значительного количества теплоты с разогревом продуктов более 1000 К (табл. 1). По этой причине данные реакции способны протекать в режиме горения.

Таблица 1

Сравнительные термодинамические характеристики реакций (1)–(3)
сульфатов ряда металлов с Na_2O_2 , NaO_2 и KO_2

Соль	Na_2O_2		NaO_2		KO_2	
	$Q_{\text{реакции}},$ кДж/моль	$T, \text{ К}$	$Q_{\text{реакции}},$ кДж/моль	$T, \text{ К}$	$Q_{\text{реакции}},$ кДж/моль	$T, \text{ К}$
MnSO_4	195,31	1055	–	–	191,23	957
FeSO_4	214,22	1110	205,43	998	211,89	1012
CoSO_4	226,93	1157	218,14	1057	223,35	1072
NiSO_4	243,21	1157	234,42	1090	242,09	1110
CuSO_4	263,09	1182	254,30	1140	257,18	1145
ZnSO_4	246,23	1157	237,44	1112	239,72	1118

Исходный образец пероксида натрия до проведения опытов имел состав: Na_2O_2 – 92,2 %; NaO_2 – 5,4 %; $\text{NaOH} < 1,4$ %; $\text{Na}_2\text{CO}_3 < 1,0$ %. Расчеты показывают, что незначительные примеси NaO_2 и NaOH , присутствующие в исходном пероксиде натрия, взаимодействуют с CuSO_4 со значительными тепловыми эффектами и не должны существенно повлиять на общую термодинамику системы (табл. 2).

Таблица 2

Величины тепловых эффектов ($Q_{\text{реакции}}^0$) и изобарно-изотермического потенциала (ΔG_{298}^0) реакций взаимодействия сульфата меди с соединениями натрия

Реакция	$\Delta G_{298}^0,$ кДж/моль	$Q_{\text{реакции}}^0,$ кДж/моль	$Q_{\text{реакции}}^0,$ кДж/кг
$\text{CuSO}_4 + \text{Na}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{CuO} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 0,5 \text{ O}_2$	–290,29	263,09	1105,40
$\text{CuSO}_4 + 2 \text{ NaO}_2 \rightarrow \text{CuO} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 1,5 \text{ O}_2$	–301,72	254,30	941,80
$\text{CuSO}_4 + 2 \text{ NaOH} \rightarrow \text{CuO} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}(\text{г})$	–208,26	160,98	670,80
$\text{CuSO}_4 + 2 \text{ NaOH} \rightarrow \text{CuO} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$	–216,91	207,87	866,70
$\text{CuSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CuO} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2$	–88,01	37,63	141,40

При средней удельной теплоемкости продуктов реакции ~ 1 кДж/(кг·К) саморазогрев системы останется на уровне 1000 °С. Это подтверждается экспериментально: взаимодействие исходного пероксида натрия с CuSO_4 осуществляется в режиме горения в широком интервале составов (рис. 1). Максимум теплового эффекта и скорости горения достигается при соотношении $\text{CuSO}_4 : \text{Na}_2\text{O}_2 = 1 : 1$, и основным соединением меди является ее оксид CuO , образующийся в соответствии с уравнением (1).

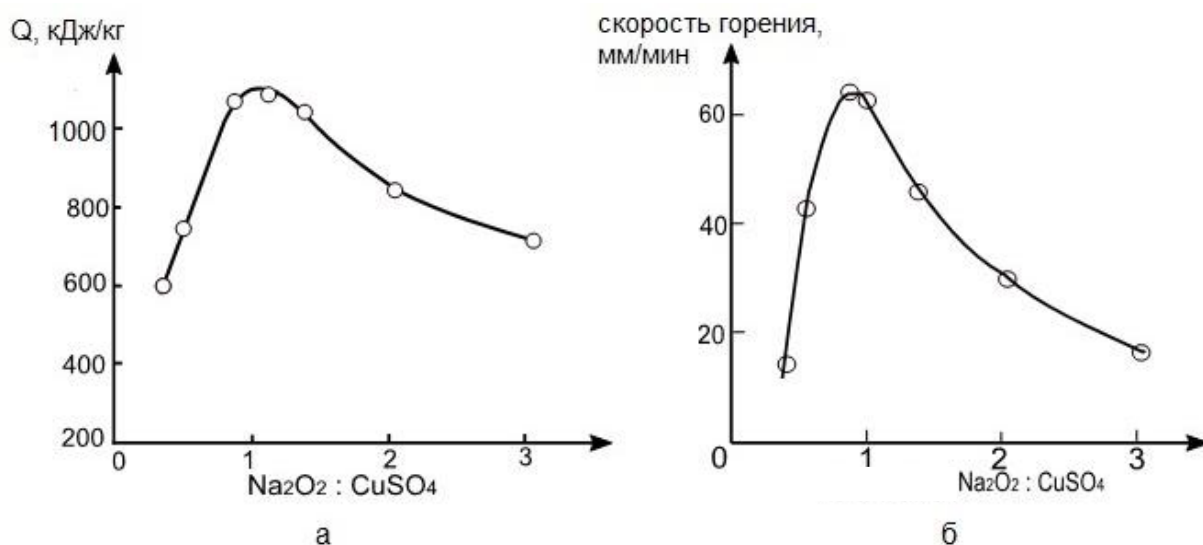


Рис. 1. Зависимость теплового эффекта (а) и скорости горения (б) в системе $\text{CuSO}_4 - \text{Na}_2\text{O}_2$ от состава

Поверхностные деградированные образцы содержали значительно большее количество NaOH при практически не изменившемся содержании Na_2CO_3 . Анализ показал, что в условиях опыта в слоях, контактирующих непосредственно с атмосферой, содержание Na_2O_2 снизилось до $\sim 65\%$ (табл. 3).

Таблица 3

Содержание CuO в продуктах реакции сульфата меди с пероксидом натрия разной степени деградации

№ слоя пероксида натрия от границы с атмосферой	Содержание Na_2O_2 в слое, %	Содержание CuO в продуктах реакции, %
1	65,11	32,70
2	76,85	33,70
3	84,05	32,20
4	85,90	33,80
5	92,50	33,70

Остальная часть продукта представляла NaOH ($> 30\%$) с небольшим, близким к исходному содержанием Na_2CO_3 . В удаленных от поверхности слоях пероксид натрия остался практически в исходном состоянии. Несмотря на высокое содержание в поверхностных образцах гидроксида натрия термограммы их взаимодействия с CuSO_4 качественно практически не изменились по сравнению с термограммами образцов с высоким содержанием Na_2O_2 (рис. 2).

Взаимодействие между компонентами в обоих случаях начинается при температуре 260°C и сопровождается сильным экзотермическим эффектом и скачкообразным изменением массы. При высоком содержании в образцах NaOH экзотермический эффект несколько меньше, чем в образцах с высоким содержанием Na_2O_2 , т. к. тепловыделение в реакциях солей с NaOH меньше, чем в реакциях с Na_2O_2 (см. табл. 2).

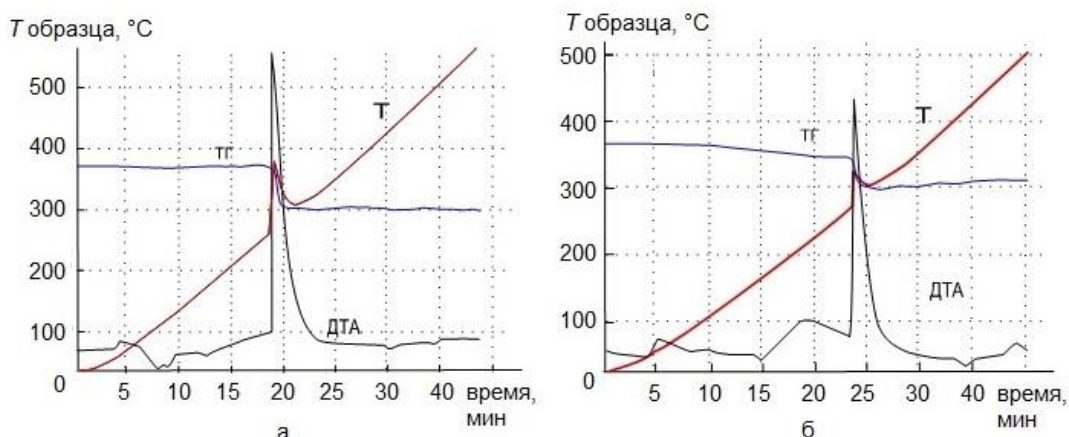


Рис. 2. Термограммы взаимодействия в системах CuSO_4 – пероксид натрия:

- а) образец пероксида № 5 (содержание Na_2O_2 92,5 %);
- б) образец пероксида № 1 (содержание Na_2O_2 65,1 %)

Исходя из термодинамических данных и данных термического анализа, наличие щелочи существенно не влияет на взаимодействие CuSO_4 с продуктом деградации. Для проверки этого положения были проведены реакции CuSO_4 с пероксидом натрия разной степени деградации. При этом количество продукта деградации для реакции с CuSO_4 рассчитывалось из предположения, что он полностью состоит из Na_2O_2 . Это в определенной степени допустимо, так как на реакцию с одним молем CuSO_4 (160 г) реагирует 1 моль Na_2O_2 (78 г) или 2 моля NaOH (80 г). Прессованные образцы реагируют в режиме горения без изменения формы с образованием продукта, содержащего черного цвета оксид меди с включением белого сульфата натрия (рис. 3). Линейная скорость горения образцов находилась в диапазоне 40...50 мм/мин.



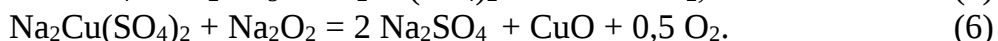
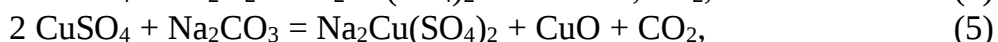
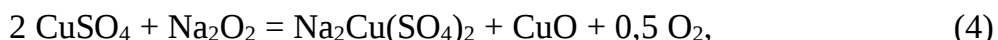
Рис. 3. Образцы продукта горения системы CuSO_4 – пероксид натрия:

- а) образец пероксида № 1 (содержание Na_2O_2 65,1 %);
- б) образец пероксида № 5 (содержание Na_2O_2 92,5 %)

После обработки продуктов реакции водой происходит отделение растворимого сульфата натрия от оксида меди. Приведенные в табл. 3 данные анализа показывают, что деградация пероксида натрия в результате образования NaOH не оказывает существенного влияния на взаимодействие сульфата меди с пероксидом натрия. Продукт деградации, содержащий Na_2O_2 и NaOH , можно рассматривать как состоящий из Na_2O_2 .

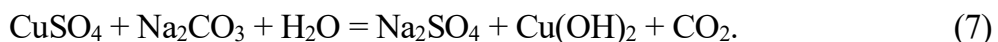
Для уточнения влияния на свойства пероксида натрия такого продукта деградации, как карбонат натрия Na_2CO_3 , последний добавляли в образцы

пероксида натрия из слоя № 5 (табл. 3), которые смешивали с сульфатом меди из предположения, что деградированный продукт представляет собой Na_2O_2 . Взаимодействие чистого Na_2CO_3 с CuSO_4 при нагреве до температуры 900°C протекает медленно и сопровождается образованием оксида меди без выраженных экзотермических эффектов. Смесь $\text{Na}_2\text{O}_2\text{--Na}_2\text{CO}_3\text{--CuSO}_4$ при нагреве реагирует с небольшим экзотермическим эффектом при 260°C , характерным для составов с Na_2O_2 . В определенной степени Na_2CO_3 в тепловом отношении можно считать инертным разбавителем, снижающим температуру процесса. Образцы, содержащие в перексиде натрия до 30 % Na_2CO_3 , сохраняют способность горения со скоростью распространения фронта горения до 30 мм/мин, но имеют склонность к затуханию. При отмывке продукта реакции водой в раствор переходит кроме Na_2SO_4 некоторое количество соединений меди. При содержании в образцах пероксида натрия до 20 % Na_2CO_3 в промывочной воде и в твердом остатке не обнаруживаются продукты, содержащие связанный CO_2 , что свидетельствует об участии карбоната натрия в присутствии пероксида натрия в химических превращениях. Переход меди в растворимые формы и отсутствие связанного CO_2 можно объяснить следующими реакциями:

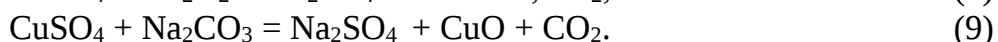
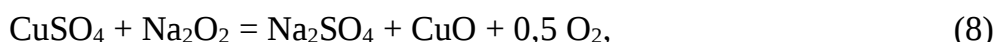


В процессе взаимодействия в системе $\text{Na}_2\text{O}_2\text{--Na}_2\text{CO}_3\text{--CuSO}_4$ часть меди переходит в нерастворимый оксид CuO , а некоторая часть – в растворимую соль $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2$, которая и отделяется водой при промывке продуктов реакции. Na_2CO_3 вследствие незначительного теплового эффекта в реакции с CuSO_4 (табл. 2), понижает температуру и, соответственно, скорость реакции (6), превращающую растворимую форму меди в нерастворимый оксид меди. Диоксид углерода выделяется из системы в реакции (5) и в продуктах не обнаруживается.

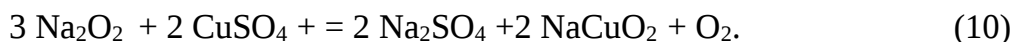
При дальнейшем замещении Na_2O_2 карбонатом натрия температура реакции понижается и Na_2CO_3 остается наряду с непрореагировавшим сульфатом меди в твердых продуктах реакции. При растворении таких продуктов реакции в воде наблюдается обильное выделение CO_2 в соответствии с реакцией



При содержании соды более 40 % горение не осуществляется, и продукт деградации можно использовать только при печном способе утилизации при температуре более 500°C из расчета протекания реакций



При взаимодействии избытка Na_2O_2 с CuSO_4 образуется купрат натрия NaCuO_2 , что подтверждается результатами рентгеновского анализа (табл. 4) и соответствует реакции



В присутствии карбоната натрия получению NaCuO_2 соответствует реакция



Таблица 4

Результаты рентгенофазового анализа продукта взаимодействия CuSO_4 с избытком Na_2O_2 (мольное соотношение $\text{Na}_2\text{O}_2 : \text{CuSO}_4 = 2 : 1$)

Продукт взаимодействия		Данные картотеки ASTM					
		NaCuO_2		Na_2SO_4		Na_2O_2	
$d, \text{ \AA}$	$I / I_0, \%$	$d, \text{ \AA}$	$I / I_0, \%$	$d, \text{ \AA}$	$I / I_0, \%$	$d, \text{ \AA}$	$I / I_0, \%$
5,240	77,3	5,240	95	—	—	—	—
4,660	50,9	—	—	4,66	73	—	—
3,840	18,2	—	—	3,84	18	—	—
3,780	81,8	—	—	—	—	3,780	90
3,178	76,4	3,170	80	3,178	51	—	—
3,090	40,9	—	—	—	—	3,090	45
3,075	40,0	—	—	3,075	47	—	—
2,883	40,9	—	—	—	—	2,883	45
2,783	90,0	—	—	2,783	100	—	—
2,729	52,7	2,729	70	—	—	—	—
2,703	90,9	2,703	100	—	—	—	—
2,646	48,2	—	—	2,646	48	—	—
2,622	43,6	2,622	40	—	—	—	—
2,451	32,7	2,450	70	—	—	—	—

Расчет показывает, что используемый продукт деградации пероксида натрия должен содержать не более 40 % Na_2CO_3 . При использовании супероксида калия получению KCuO_2 в присутствии карбоната калия соответствует реакция



При этом содержание K_2CO_3 в продукте деградации не должно превышать 32 %.

Выводы. Продукты деградации пероксидных средств регенерации воздуха при любой степени деградации могут быть использованы для получения функциональных материалов, но с использованием разных технологических приемов. Гидратированные продукты, содержащие наряду с пероксидными соединениями гидроксиды, по реакционной способности близки к пероксидным соединениям и могут быть использованы в энергосберегающих технологиях получения функциональных материалов, в частности, простых и сложных оксидов цветных металлов, ферритов, шпинелей, методом твердофазного горения.

С увеличением содержания карбонатов в пероксидных продуктах регенерации их стоимость существенно уменьшается, как и целесообразность использования в технологических целях. При содержании карбонатов до ~ 30 % продукты рационально использовать в энергосберегающих технологиях получения оксидов ряда металлов. При увеличении содержания карбонатов их применение оправданно и возможно с использованием печных технологий. При преимущественном содержании в регенеративных продуктах карбонатов целесообразна их утилизация рассмотренными ранее методами.

Список литературы / References

1. Регенеративный процесс в изолирующем дыхательном аппарате с химически связанным кислородом / В. В. Мамаев, Л. А. Зборщик, Р. С. Плетенецкий, А. П. Кирьян // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2020. – № 4(57). – С. 87–94.

Mamaev, V. V., Zborshchik, L. A., Pletenetsky, R. S., Kiryan, A. P. *Regenerativnyy protsess v izoliruyushchem dykhatel'nom apparate s khimicheski svyazannym kislorodom* [Regenerative process in an isolating breathing apparatus with chemically bound oxygen]. *Scientific bulletin of NIIGD "Respirator"*, 2020, no. 4(57), pp. 87–94. (In Russian)

2. Гладышев, Н. Ф. Системы и средства регенерации и очистки воздуха обитаемых герметичных объектов / Н. Ф. Гладышев, Т. В. Гладышева, С. И. Дворецкий. – Москва : Спектр, 2016. – 204 с.

Gladyshev, N. F., Gladysheva, T. V., Dvoretzky, S. I. *Sistemy i sredstva regeneratsii i ochistki vozdukha obitayemykh germetichnykh ob'yektov* [Systems and means for regeneration and purification of air in habitable sealed objects]. Moscow, Spectrum Publ., 2016, 204 p. (In Russian)

3. Плотников, Д. А. Анализ проблемы образования отходов шахтных самоспасателей на химически связанном кислороде в условиях ДНР / Д. А. Плотников // Вестник ДонНАСА «Инженерные системы и техногенная безопасность»: сборник научных трудов. – Макеевка : ДонНАСА, 2019. – № 5(139). – С. 26–31.

Plotnikov, D. A. *Analiz problemy obrazovaniya otkhodov shakhtnykh samospasateley na khimicheski svyazannom kislorode v usloviyakh DNR* [Analysis of the problem of waste formation from mine self-rescuers on chemically bound oxygen in the conditions of the DPR]. *Bulletin of DonNACEA "Engineering systems and technogenic safety": collection of scientific papers. Makeyevka, DonNACEA*, 2019, no. 5 (139), pp. 26-31. (In Russian)

4. Шевченко, Т. В. Технологические особенности обезвреживания адсорбционных компонентов промышленных изолирующих дыхательных аппаратов / Т. В. Шевченко, Л. А. Сенчурова, Е. В. Ульрих // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 3. – С. 85–89.

Shevchenko, T. V., Senchurova, L. A., Ulrich, E. V. *Tekhnologicheskiye osobennosti obezvrezhivaniya adsorbtsionnykh komponentov promyshlennnykh izoliruyushchikh dykhatel'nykh apparatov* [Technological features of neutralization of adsorption components of industrial isolating breathing apparatus]. *Fundamental research*, 2017, no. 3, pp. 85-89. (In Russian)

5. Высоцкий, С. П. Использование отходов самоспасателей на химически связанном кислороде для снижения карбонатной жесткости шахтной воды / С. П. Высоцкий, Д. А. Плотников, В. В. Мамаев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – № 7(239). – С. 172–181.

Vysotsky, S. P., Plotnikov, D. A., Mamaev, V. V. *Ispol'zovaniye otkhodov samospasateley na khimicheski svyazannom kislorode dlya snizheniya karbonatnoy zhestkosti shakhtnoy vody* [Use of waste from self-rescuers on chemically bound oxygen to reduce the carbonate hardness of mine water]. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University, Engineering georesources*, 2021, no. 7 (239), p. 172-181. (In Russian)

6. Зборщик, Л. А. Утилизация химического продукта шахтных самоспасателей /Л. А. Зборщик, Р. С. Плетенецкий, В. И. Францев // Вестник Академии гражданской защиты. – 2018. – Вып. 4. – № 16. – С. 77–82.

Zborshchik, L. A., Pletenetsky, R. S., Frantsev, V. I. *Utilizatsiya khimicheskogo produkta shakhtnykh samospasateley* [Disposal of chemical product of mine self-rescuers]. *Bulletin of the Academy of Civil Defense*, 2018, vol. 4, no. 16, pp. 77-82. (In Russian)

7. Берестовая, А. А. Использование отходов пероксидных компонентов средств регенерации воздуха в технологии получения функциональных материалов / А. А. Берестовая, В. В. Шаповалов // Вестник ДонНУ. Серия Г: Технические науки. – 2022. – № 3. – С. 57–64.

Berestovaya, A. A., Shapovalov V. V. *Ispol'zovaniye otkhodov peroksidnykh komponentov sredstv regeneratsii vozdukha v tekhnologii polucheniya funktsional'nykh materialov* [Use of waste peroxide components of air regeneration agents in the technology of obtaining functional materials]. *Bulletin of DonNU. Series G: Technical sciences*, 2022, no. 3, pp. 57-64. (In Russian)

8. Берестовая, А. А. Термодинамический анализ процесса горения в окисдно- и пероксидно-солевых системах / А. А. Берестовая, В. В. Шаповалов // Научный вестник НИИГД «Респиратор» – 2022. – № 2(59). – С.26–33.

Berestovaya, A. A., Shapovalov, V. V. *Termodinamicheskiy analiz protsessa goreniya v oksidno- i peroksidno-solevykh sistemakh* [Thermodynamic analysis of the combustion process in oxide and peroxide-salt systems]. *Scientific bulletin of NIIGD "Respirator"*, 2022, no. 2 (59), pp. 26-33. (In Russian)

9. Chepkoech, M., Joubert, D. P., Amolo, G. O. Theoretical investigation of the thermoelectric properties of $ACuO_2$ ($A = K, Rb$ and Cs), *Eur. Phys. J.B* 93, 100 (2020). Available at: <https://doi.org/10.1140/epjb/e2020-100614-2> (accessed: 17.09.2024). (In English)

10. Новиков, А. С. Методика получения феррита меди из отходов микроэлектроники / А. С. Новиков, Е. А. Сударев., А. В. Мостовщиков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 12. – С. 134–142. DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4155.

Novikov, A. S., Sudarev, E. A., Mostovshchikov, A. V. *Metodika polucheniya ferrita medi iz otkhodov mikroelektroniki* [Methodology for obtaining copper ferrite from microelectronics waste]. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesources engineering*, 2023, vol. 334, no. 12, pp. 134-142. DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4155. (In Russian)

11. Вольнов, И. И. Перекиси, надперекиси и озониды щелочных и щелочноземельных металлов / И. И. Вольнов. – Москва : Наука, 1964. – 123 с.

Volnov, I. I. *Perekisi, nadperekisi i ozonidy shchelochnykh i shchelochnozemel'nykh metallov* [Peroxides, superoxides and ozonides of alkali and alkaline earth metals]. Moscow, Nauka Publ., 1964, 123 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром хим. наук А. С. Алемасовой

Дата поступления рукописи 05.11.2024

Дата опубликования 19.12.2024

Valery Vasilievich Shapovalov, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Head of the Department of Synthesis of Inorganic Substances; e-mail: wvshapovalov@gmail.com;

Sergey Vladimirovich Zhuravlev, Junior Researcher of the Department of Synthesis of Inorganic Substances; e-mail: serezha.zhuravlev.1111@mail.ru;

Alina Anatolyevna Berestovaya, researcher of the Department of Synthesis of Inorganic Substances; e-mail: berestova865@gmail.com

Federal State Budgetary Scientific Institution "Reactive Electron Research Institute" 283049, Donetsk, 17a, ulitsa Bakinskikh Komissarov. Phone: +7 (949) 320-64-60

DISPOSAL OF PEROXIDE COMPONENTS OF AIR REGENERATION MEANS TO OBTAIN FUNCTIONAL COPPER-CONTAINING MATERIALS

Purpose. To determine the possibility of using waste peroxide components of air regeneration agents to develop a technology for obtaining oxide compounds of non-ferrous metals.

Methods. The research methods are based on the use of fundamental principles of chemical thermodynamics to determine the energy characteristics of reactions and generally accepted experimental methods for studying solid-phase reactions.

Results. The possibility of using degraded peroxide compounds of air regeneration agents to obtain functional copper compounds has been established theoretically and experimentally. It has been established that the presence of sodium hydroxide in the degradation products of sodium peroxide compounds does not significantly affect the possibility of their use in the synthesis of copper oxide compounds. Alkali metal carbonates represent limitations to their use.

Scientific novelty. For the first time, data on solid-phase chemical interactions in the $\text{CuSO}_4\text{--Na}_2\text{O}_2\text{--NaOH--Na}_2\text{CO}_3$ system have been obtained.

Practical significance. The possibility of effective utilization of peroxide compounds and their degradation products in chemical engineering practice has been demonstrated.

Key words: peroxide compounds; degradation; utilization; sodium peroxide; copper sulfate; copper oxide; sodium cuprate; thermal analysis.

For citation. Shapovalov V. V., Zhuravlev S. V., Berestovaya A. A. Disposal of peroxide components of air regeneration means to obtain functional copper-containing materials. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, vol. 4(61), pp. 86-96. EDN: MMVXXM.

УДК [614.8:665.725]:001.891.572

*Гафур Халафович Самигуллин, д-р техн. наук, проф. каф. ФХОПГуТ; e-mail: samigullin.g@igps.ru;
Зелимхан Бекханович Евлоев, адъюнкт; e-mail: euloeff.zel@yandex.ru*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России
им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева»
196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149. Тел.: + 7 (951) 689-59-90*

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ЭСКАЛАЦИИ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ПРОИЗВОДСТВА И ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Цель. Разработать объемную трехпараметрическую диаграмму накопления повреждений, демонстрирующую возможность учета действующих и критических значений поражающих факторов аварии для определения их влияния на технологическое оборудование с сжиженным природным газом.

Методы. Применялись методы математического моделирования на основе научно-методической базы исследований и разработок в области обеспечения безопасности производства и хранения сжиженного природного газа.

Результаты. Предложена расчетная методика определения критерия, позволяющая учитывать сочетание комбинированного воздействия опасных факторов аварии для оценки возможности эскалации аварийной ситуации на объектах производства и хранения сжиженного природного газа.

Научная новизна. Разработан метод оценки опасности эскалации аварии при комбинированном воздействии опасных факторов, приводящих к возникновению чрезвычайных ситуаций на объектах производства и хранения сжиженного природного газа.

Практическая значимость. Результаты исследований позволяют учитывать действующие и критические значения поражающих факторов аварии для более достоверного прогнозирования и предотвращения эскалации аварий на объектах производства и хранения сжиженного природного газа.

Ключевые слова: сжиженный природный газ; технологическое оборудование; возникновение чрезвычайной ситуации; опасные факторы аварии; критерий эскалации аварии.

Для цитирования: Самигуллин Г. Х., Евлоев З. Б. Оценка вероятности эскалации аварий на объектах производства и хранения сжиженного природного газа // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 4(61). – С. 97–106. – EDN: REQEZI.

Введение. Ведущие страны мира с инновационными технологическими возможностями активно развивают проектирование и строительство объектов по получению сжиженного природного газа (далее – СПГ) с целью перехода на экологичное газовое топливо вместо использования угля и нефтепродуктов. Рост потребления СПГ обусловлен не только отсутствием или дефицитом внутренних энергоресурсов в отдельных странах и регионах, но, прежде всего, существенными преимуществами перед другими энергоносителями за счет возможности транспортировать его на большие расстояния и реализовывать по ценам мирового рынка [1]. Благодаря процессу сжижения природного газа происходит очищение от вредных различных примесей сернистых соединений, поэтому на выходе получается экологически чистый продукт [2].

Российская Федерация является крупным поставщиком энергоресурсов (рис. 1), она активно развивает инфраструктуру для производства и экспорта СПГ и к 2035 г. займет от 15 до 20 % мирового рынка СПГ. Несмотря на все достижения в области обеспечения безопасности на предприятиях получения СПГ,

значительная их часть являются объектами повышенной взрывопожарной опасности вследствие высокой вероятности возникновения аварий, развитие которых может привести к чрезвычайным ситуациям (далее – ЧС) с угрозой разрастания до катастрофического масштаба [3].

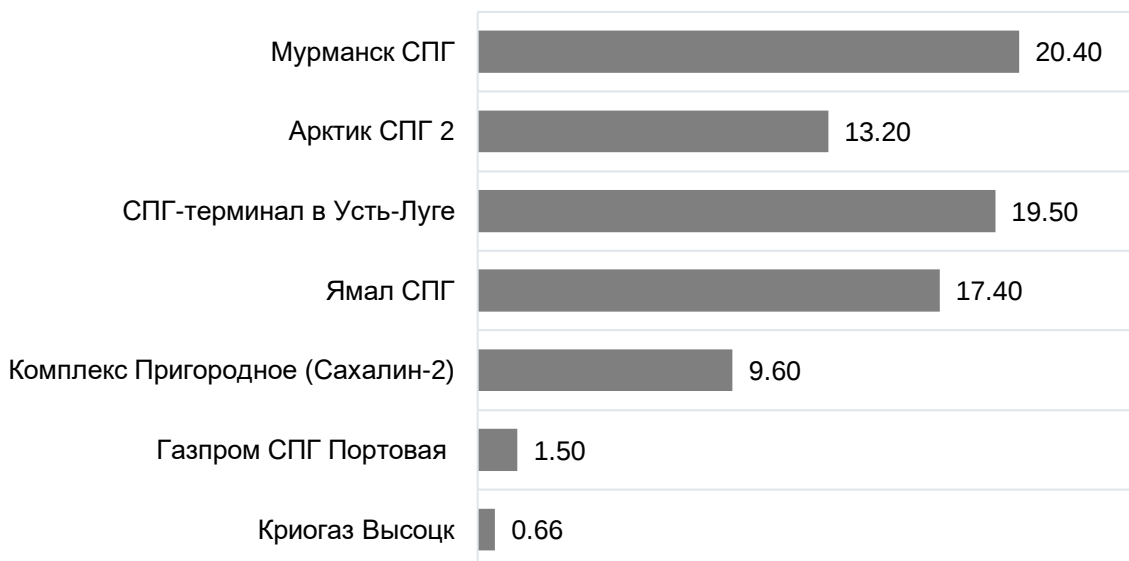


Рис. 1. Производственные мощности объектов СПГ в России (млн т/год)

Актуальность проблемы обеспечения безопасности на объектах производства и хранения СПГ. Вероятность возникновения ЧС на объектах производства и хранения сжиженного природного газа находится на высоком уровне вследствие опасности возникновения аварийных ситуаций и их эскалационного развития. При этом опасные факторы аварий – тепловое излучение, ударная волна из-за негативного воздействия на соседние технологические установки могут вовлекать значительное количество взрывопожароопасной технологической среды. Кроме того, дополнительным негативным фактором при образовании проливов СПГ является воздействие низких температур на элементы технологического оборудования, приводящее к их криогенному поражению и образованию повреждений.

Комбинированное воздействие на оборудование и трубопроводы низких температур, динамических нагрузок вследствие взрыва и избыточного давления, а также тепловой радиации усугубляет развитие аварийной ситуации, приводит к увеличению масштабов вплоть до катастрофических.

Актуальность научного исследования обусловлена тем, что существующие требования в части обеспечения безопасности на производствах СПГ, как правило, не учитывают весь спектр последствий воздействия опасных факторов аварии на оборудование и сооружения технологических установок.

Данная ситуация возникает вследствие ограничений при рассмотрении расчетных аварий и обуславливает необходимость развития моделей и методов для определения вероятных зон поражения опасными факторами аварии при разгерметизации или полном разрушении технологического оборудования в случаях аварийных утечек СПГ.

В газовой промышленности с 1944 по 2022 гг. произошло значительное количество аварийных ситуаций с производством и хранением СПГ. Одна из самых известных крупномасштабных аварий в истории газовой промышленности произошла в Кливленде (шт. Огайо, США) в октябре 1944 г. в результате утечки СПГ с последующим воспламенением и быстрым его распространением через производственные коммуникации. Образовавшееся газоздушное облако взорвалось, что привело к уничтожению газового завода, порядка десяти административных зданий и более восьмидесяти жилых частных домов на расстоянии более 400 м от места первоначальной утечки СПГ.

В официальном отчете указано более пяти возможных причин аварии, одной из которых было образование трещин на технологическом резервуаре под воздействием экстремально низких температур СПГ. В отчете приводится высказывание главного инженера фирмы-изготовителя о том, что материал для изготовления технологического резервуара становится хрупким уже при достижении температуры -16°C , несмотря на положительные результаты ударных испытаний [4, 5]. Поэтому очевидно, что любые иницирующие события в условиях повышенной хрупкости оболочки технологического резервуара могли привести к катастрофе на данном газовом заводе.

Современные технологии производства и хранения СПГ, включая противоаварийные мероприятия, существенно изменились. Однако на крупнейшем объекте СПГ «Freeport LNG» на острове Кинтана (шт. Техас, США) в результате выброса СПГ произошла авария, что привело к взрыву и пожару. В числе основных причин аварии было указано нарушение техники безопасности при эксплуатации технологического оборудования.

Данные случаи позволяют сделать вывод о том, что наряду с воздействием опасных факторов аварий необходимо учитывать низкотемпературное (криогенное) воздействие на элементы технологического оборудования.

Предлагаемый подход к оценке последствий воздействия опасных факторов аварий на производствах СПГ представляет собой математическую модель, основанную на анализе и выявлении предпосылок происшествий и инцидентов за счет построения факторного параметрического базиса технологических систем «предприятие с потенциально опасными объектами – персонал – защита – окружающая среда» [6].

При этом, в дополнение к существующим положениям об учете наиболее значимого аварийного фактора предлагается рассмотрение последствий комбинированного воздействия всех опасных факторов аварий: термического криогенного воздействия, теплового излучения и поражения ударной волной. В условиях одновременного или последовательного их проявления могут возникнуть предпосылки для эскалации аварийной ситуации с последующим возникновением техногенной ЧС.

Действующими нормативными документами в области пожарной и промышленной безопасности требуется определение вероятностных (посредством пробит-функций) и детерминированных критериев, позволяющих оценить возможность разрушения оборудования и эскалации аварийных ситуаций при воздействии опасных факторов.

Общий вид пробит-функций можно описать выражением

$$Pr = k_1 + k_2 \cdot \ln(D^*), \quad (1)$$

где k_1 и k_2 – константы, обусловленные видом и свойствами деструктивного воздействия¹⁾;

D^* – величина деструктивного воздействия: при пожаре – интенсивность теплового излучения и его длительность, при взрыве – избыточное давление и импульс фазы сжатия²⁾.

Предельные значения детерминированных критериев приведены в табл. 1. Численные показатели вычисляют в соответствии с требованиями нормативной документации³⁾. При этом используется бинарный принцип оценки условной вероятности повреждения элементов оборудования: если расчетный показатель меньше критического значения, принимается нулевое значение, в противном случае вероятность принимается равной единице. Следует отметить, что в настоящее время отсутствует единый подход к оценке опасности криогенного воздействия на технологическое оборудование при разливах СПГ и нормативная база содержит единичные документы, что затрудняет оценку опасности таких аварий⁴⁾.

Таблица 1

Предельные значения опасных факторов аварий,
инициирующие разрушения оборудования

Вид аварии	Опасный фактор (критерий)	Оборудование			
		Резервуары	Сосуды под давлением	Протяженное оборудование, трубопроводы	Малогабаритное оборудование, аппараты
Взрыв	Воздушная ударная волна (избыточное давление, ΔP , кПа)	22	16	31	37
Пожар	Тепловое излучение (интенсивность, Q , кВт/м ²)	15	50	–	–

¹⁾ Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300154647> (дата обращения: 29.10.2024).

²⁾ Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300506230> (дата обращения: 29.10.2024).

³⁾ Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170886?marker=6500IL§ion=text> (дата обращения: 29.10.2024).

⁴⁾ Нефтяная и газовая промышленность. Средства защиты строительных конструкций от воздействий криогенных сред. Общие требования. Методы испытаний // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1304365937> (дата обращения: 29.10.2024).

Однако отдельными исследователями ведутся активные работы по определению негативного воздействия криогенных жидкостей на металлические конструкции, а также методов и средств их защиты [7, 8].

Накопления повреждений в элементах оборудования вследствие совокупного воздействия опасных факторов аварии могут привести к эскалации, с дальнейшей разгерметизацией и разрушением оборудования, возникновению проливов и выбросов взрывопожароопасной технологической среды, сопровождаемые пожарами, взрывами, увеличению интенсивности и масштабов негативного воздействия на технологическое оборудование, людей и окружающую среду вплоть до возникновения ЧС.

При оценке криогенного воздействия на элементы технологического оборудования в качестве критерия предлагается определить степень термического поражения металла [9]. При этом необходимо отметить, что технологическое оборудование и металлические конструкции на производственных объектах СПГ изготовлены из марок стали с различными свойствами, которые эксплуатируются при различных температурных и технологических режимах (табл. 2).

Таблица 2

Температурные режимы эксплуатации стальных конструкций

Вид стали	Температура эксплуатации, °С
Углеродистая	от –100 до +350
Легированная	от +100 до +300
Нержавеющая	от –200 до +600
Инструментальная	от +200 до +650

В соответствии с нормативными требованиями по расчету аппаратов и сосудов, при воздействии на элементы оборудования прочность обеспечивается при выполнении неравенства вида

$$\frac{F}{F_{кр}} \leq 1, \quad (2)$$

где F – силовой фактор – действующая или расчетная нагрузка;

$F_{кр}$ – предельное критическое значение нагрузки⁵⁾.

Применительно к опасным факторам аварии можно по аналогии сформулировать следующие условия для локальных критериев K

$$K_t = \frac{t_{дз}}{t_{кр}} \leq 1; \quad (3)$$

⁵⁾ Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556344844> (дата обращения: 29.10.2024).

$$K_Q = \frac{Q_{дз}}{Q_{кр}} \leq 1; \quad (4)$$

$$K_{\Delta P} = \frac{\Delta P_{дз}}{\Delta P_{кр}} \leq 1, \quad (5)$$

где $t_{дз}, t_{кр}, ^\circ\text{C}$ – действующие на элементы оборудования (конструкции) и критические значения криогенного (низкотемпературного) воздействия;

$Q_{дз}, Q_{кр}, \text{кВт/м}^2$ – действующие на элементы оборудования (конструкции) и критические значения теплового излучения при пожаре;

$\Delta P_{дз}, \Delta P_{кр}, \text{кПа}$ – действующие на элементы оборудования (конструкции) и критические значения избыточного давления взрыва.

При комбинированном воздействии всех рассматриваемых опасных факторов аварии критерий эскалации может быть представлен в векторном виде

$$K_t = \frac{-160}{-200} = 0,8 \leq 1, \quad K_Q = \frac{7,4}{15} = 0,5 \leq 1, \quad K_{\Delta P} = \frac{11,8}{22} = 0,5 \leq 1. \quad (6)$$

Результаты исследования и их обсуждение. С целью определения совокупного влияния поражающих факторов аварии и оценки вероятности эскалации аварийной ситуации на объектах производства и хранения сжиженного природного газа разработана графическая интерпретация объемной трехпараметрической диаграммы (рис. 2), иллюстрирующая применение принципа накопления повреждений на примере технологического резервуара [10, 11]. Каждая координата вектора объемной трехпараметрической диаграммы характеризуется его проекцией на ось, эквивалентной частным критериям $K_t, K_Q, K_{\Delta P}$, отражающей отношение суммы действующих значений к критическим значениям рассматриваемых поражающих факторов аварии.

Исходные данные действующих и критических значений влияния поражающих факторов аварии на технологический резервуар приведены в табл. 3.

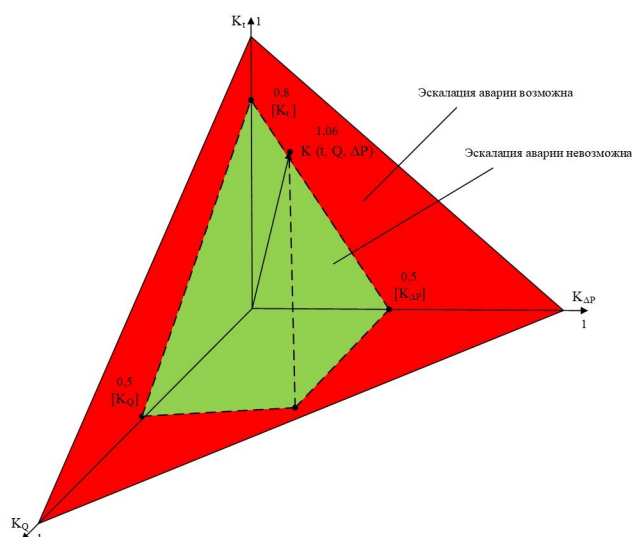


Рис. 2. Объемная трехпараметрическая диаграмма накопления повреждений

Таблица 3

Исходные данные действующих и критических значений влияния поражающих факторов аварии на технологический резервуар

Поражающий фактор аварии, ед. изм.	Действующие значения	Критические значения
Криогенное воздействие, °С	−160	−200
Тепловое излучение, кВт/м ²	7,4	15,0
Воздушная ударная волна, кПа	11,8	22,0

Локальные критерии для каждого поражающего фактора аварии определяют по формулам (3), (4), (5)

$$K_t = \frac{-160}{-200} = 0,8 \leq 1, \quad K_Q = \frac{7,4}{15} = 0,5 \leq 1, \quad K_{\Delta P} = \frac{11,8}{22} = 0,5 \leq 1.$$

Обобщающий локальный критерий при комбинации нескольких поражающих факторов аварии определяют по формуле (6) векторным суммированием полученных отдельно локальных критериев

$$K(t, Q, \Delta P) = \bar{K}_t + \bar{K}_Q + \bar{K}_{\Delta P} = \sqrt{0,8^2 + 0,5^2 + 0,5^2} = \sqrt{1,14} \approx 1,06 > 1.$$

Значение обобщающего критерия $K(t, Q, \Delta P)$ демонстрирует, что комбинация нескольких поражающих факторов аварии может привести к эскалации аварийной ситуации из-за разрушения технологического резервуара, если векторное суммирование результирующих коэффициентов будет превышать единицу при исходных значениях

$$\bar{K}_t = 0,8; \quad \bar{K}_Q = 0,5; \quad \bar{K}_{\Delta P} = 0,5.$$

Таким образом, в представленных условиях при разгерметизации технологического оборудования и проливе СПГ вероятность эскалации аварии составляет 100 % вследствие разрушения элементов оборудования.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Разработанная объемная трехпараметрическая диаграмма накопления повреждений является эффективным инструментом оценки и учета воздействия на технологическое оборудование опасных факторов аварий. Кроме того, предложенная расчетная методика позволяет учитывать действующие и критические значения поражающих факторов аварии, что способствует более точному прогнозированию и предотвращению эскалации аварий на объектах производства и хранения СПГ.

Таким образом, для минимизации возможных последствий, связанных с накоплением опасных поражающих факторов аварии, необходимо произвести комплексное исследование и разработать стратегию безопасности, которая будет учитывать все возможные сценарии аварий при возникновении ЧС.

Список литературы / References

1. Федорова, Е. Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование / Е. Б. Федорова. – Москва : РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2011. – 159 с.

Fedorova, Ye. B. *Sovremennoye sostoyaniye i razvitiye mirovoy industrii szhizhennogo prirodnogo gasa: tekhnologii i oborudovaniye* [Modern state and development of the world industry of liquefied natural gas: technologies and equipment]. Moscow, Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2011. 159 p. (In Russian)

2. Промышленное аналитическое оборудование для контроля подготовки природного газа к сжижению / А. В. Бородин, А. В. Козловский, А. А. Копылов, К. С. Кулемин, М. А. Машканцев // Лаборатория и производство. – 2019. – № 2(6). – С. 112–128.

Borodin A. V., Kozlovsky A. V., Kopylov A. A., Kulemin K. S., Mashkantsev M. A. *Promyshlennoye analiticheskoye oborudovaniye dlya kontrolya podgotovki prirodnogo gasa k szhizheniyu* [Industrial analytical equipment for control of natural gas preparation for liquefaction]. *Laboratory and Production*, 2019, № 2(6), pp. 112-128. (In Russian)

3. Техногенные риски на объектах по производству сжиженного природного газа / С. В. Ильницкий, Г. Х. Самигуллин, К. В. Косарев, В. А. Аникин // Научный лидер. – 2023. – № 15(113). – С. 10–15.

Ilitskiy S. V., Samigullin G. H., Kosarev K. V., Anikin V. A. *Technogenyye riski na obyektakh po proizvodstvu szhizhennogo prirodnogo gasa* [Technogenic risks at liquefied natural gas production facilities]. *Scientific Leader*, 2023, № 15(113), pp. 10-15. (In Russian)

4. Абдурагимов, И. М. Нерешенные проблемы пожаровзрывобезопасности энергоресурсов (СУГ и СПГ) как обратная сторона успехов энергетической стратегии Российской Федерации / И. М. Абдурагимов, Г. Н. Куприн // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 4. – С. 42–50.

Abduragimov, I. M., Kuprin, G. N. *Nereshennyye problem pozharovzryvobezопасности energoresursov (SUG i SPG) kak oborotnaya storona uspekhev* [Unresolved problems Fire and explosion safety of energy resources (LPG and LNG) as the reverse side of the success of the energy strategy of the Russian Federation]. *Fire and explosion safety*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 42-50. (In Russian)

5. Маршалл, В. Основные опасности химических производств / В. Маршалл. – Москва : Мир, 1989. – 672 с.

Marshall, V. *Osnovnyye opasnosti khimicheskikh proizvodstv* [Basic Hazards of Chemical Production]. Moscow, Mir, 1989. 672 p. (In Russian)

6. Черемисин, А. И. Метод факторного параметрического моделирования и возможностной оценки риска технических систем : специальность 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Черемисин Андрей Игоревич. – Ростов-на-Дону, 2009. – 17 с. Место защиты: Институт системного анализа РАН (г. Москва).

Cheremisin, A I. *Metod factornogo paramericheskogo modelirovaniya i vozmozhnostnoy otsenki riska tekhnicheskikh sistem* [Method of factor parametric modeling and possible risk assessment of technical systems: 05.13.18 “Mathematical modeling, numerical methods and program complexes” specialty: Candidate

of Technical Sciences dissertation / Cheremisin Andrei Igorevich]. Rostov-on-Don, 2009. 17 p. Place of thesis defence: Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences (Moscow). (In Russian)

7. Системы огнезащиты стальных конструкций с цементными плитами и противопожарным барьером при криогенном и Jet-Fire воздействиях / М. В. Гравит, С. П. Антонов, О. А. Фридрих, Е. С. Недвига // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2024. – № 2. – С. 73–84.

Gravit, M. V., Antonov, S. P., Friedrich, O. A., Nedviga, E. S. *Sistemy ognezashchity stalnykh konstruktsiy s tsementnymi plitami i protivopozharnym baryerom pri kriogennom i Jet-Fire vozdeystviyakh* [Systems of fire protection of steel structures with cement plates and fire barrier under cryogenic and Jet-Fire effects]. *Fires and emergencies: prevention, elimination*, 2024, no. 2, pp. 73-84. (In Russian)

8. Гравит, М. В. Воздействие криогенных сред и струйного горения на эпоксидные интумесцентные композиции, предназначенные для защиты оборудования и строительных конструкций нефтегазового комплекса / М. В. Гравит, Е. С. Недвига, О. А. Фридрих // Безопасность труда в промышленности. – 2024. – № 6. – С. 47–55.

Gravit, M. V., Nedviga, E. S., Friedrich, O. A. *Vozdeystviye kriogennykh sred i struynogo goreniya na epoksidnyye intumestsentnyye kompozitsii, prednaznachennyye dlya zashchity oborudovaniya i stroitelnykh konstruktsiy neftegasovogo kompleksa* [Impact of cryogenic media and jet combustion on epoxy intumescent compositions designed to protect equipment and building structures of oil and gas complex]. *Labor Safety in Industry*, 2024, no. 6, pp. 47-55. (In Russian)

9. Солдатов, В. Г. Конструкционные стали / В. Г. Солдатов. – Санкт-Петербург : Издательство «Лань», 2024. – 184 с.

Soldatov, V. G. *Konstruktsionnyye stali* [Structural steels]. St. Petersburg: Lan Publ., 2024. 184 p. (In Russian)

10. Индивидуальные техногенные риски / И. Р. Сунгатуллин, В. А. Гафарова, Д. Х. Махмутов, И. Р. Кузеев // Нефтегазовое дело. – 2021. – № 2. – С. 28–47.

Sungatullin, I. R., Gafarova, V. A., Makhmutov, D. H., Kuzeyev, I. R. *Individualnyye tekhnogennyye riski* [Individual technogenic risks]. *Neftegazovoye delo*, 2021, № 2, pp. 28-47. (In Russian)

11. Абдрахманова, К. Н. Метод прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации оболочковых конструкций посредством создания цифровой модели: специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Абдрахманова Карина Наилевна. – Уфа, 2022. – 138 с. Место защиты: ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Abdrakhmanova, K. N. *Metod prognozirovaniya resursa bezopasnoy ekspluatatsii posredstvom sozdaniya tsifrovoy modeli* [Method of forecasting the resource of safe operation of shell structures by creating a digital model: 05.26.03 “Fire and industrial safety (by branches)” specialty: thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences / Abdrakhmanova Karina Nailevna]. Ufa, 2022. 138 p. Place of thesis defence: Ufa State Petroleum Technological University. (In Russian)

Gafur Halafovich Samigullin, Dr. Sci. (Tech.), Prof., Chair., FKHOPGiT.; e-mail: samigullin.g@igps.ru;
Zelimkhan Bekkhanovich Evloev, adjunct, FPCVK.; e-mail: euloeff.zel@yandex.ru
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg University
of State Fire Fighting Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
named after Hero of the Russian Federation, Army General E. N. Zinichev».
149, Moskovsky pr., St. Petersburg, 196105. Phone: + 7 (951) 689-59-90

ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF ESCALATION OF ACCIDENTS AT LIQUEFIED NATURAL GAS PRODUCTION AND STORAGE FACILITIES

Objective. To develop a volumetric three-parameter diagram of damage accumulation, demonstrating the possibility of taking into account the current and critical values of the accident impact factors to determine their impact on the process equipment, in which liquefied natural gas is handle.

Methods. Mathematical modeling methods were applied on the basis of scientific and methodical base of researches and developments in the field of ensuring safety of production and storage of liquefied natural gas.

Results. The calculation methodology for determining the criterion that allows to take into account the combination of combined impact of hazardous factors of the accident to assess the possibility of escalation of the emergency situation at the facilities of production and storage of liquefied natural gas was proposed.

Scientific novelty. A method for assessing the risk of accident escalation under the combined effect of hazardous factors leading to emergencies at liquefied natural gas production and storage facilities has been developed.

Practical value. The results of the research allow to take into account the current and critical values of striking factors of the accident, which will contribute to a more accurate prediction and prevention of escalation of accidents at the facilities of production and storage of liquefied natural gas.

Keywords: *liquefied natural gas; technological equipment; emergency situation; accident hazard factors; accident escalation criterion.*

For citation: Samigullin, G. H., Evloev, Z. B. Assessment of the probability of escalation of accidents at liquefied natural gas production and storage facilities. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 4, pp. 97-106. EDN: REQEZI.

УДК 614.888:62-546.8

*Владимир Михайлович Медгаус, нач. отд.; e-mail: vladimir_medgaus@mail.ru;
Руслан Сергеевич Плетенецкий, ст. науч. сотр.; e-mail: zoloto-russland@yandex.ru;
Николай Александрович Галухин, ст. науч. сотр.; e-mail: niigd.osmas-7@mail.ru
Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-45*

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОГО НАСОСА ДЛЯ СРЕДСТВ ИММОБИЛИЗАЦИИ ПОСТРАДАВШИХ

Цель. Повышение эффективности оказания неотложной помощи в экстремальных условиях во время ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций за счет сокращения времени приведения в рабочее состояние средств иммобилизации пострадавших.

Методы. Аналитические методы исследований работы насоса как образца вакуумной техники.

Результаты. Рассмотрена работа насоса как образца вакуумной техники, определены его технические параметры, которые были использованы при конструировании опытного образца.

Научная новизна. На основании исследований параметров вакуумного насоса для средств иммобилизации пострадавших разработан образец, который позволил сократить время приведения их в рабочее состояние и снизить количество отказов.

Практическая значимость. Опытный образец вакуумного насоса для средств иммобилизации пострадавших успешно прошел приемочные испытания, имеет улучшенные массогабаритные показатели, облегчающие его транспортировку, и удобен в эксплуатации.

Ключевые слова: *вакуумный насос; средства иммобилизации пострадавших; догоспитальный этап; быстрота откачки; чрезвычайные ситуации.*

Для цитирования: Медгаус В. М., Плетенецкий Р. С., Галухин Н. А. Обоснование параметров вакуумного насоса для средств иммобилизации пострадавших // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 4(61). – С. 107–113. – EDN: QBVTOC

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. При оказании квалифицированной первой помощи на месте происшествия оснащенность оперативно-медицинской службы техническими средствами и медицинской техникой – важный фактор эффективности ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

На первом этапе оказания медицинской помощи пострадавшим при травмах конечностей и позвоночника обязательно проводят иммобилизацию поврежденных частей тела. Бригады скорой помощи согласно [1] выполняют транспортную иммобилизацию в 74,9 % случаев. Средства вакуумной иммобилизации, которыми оснащены горноспасательные подразделения, должны быть укомплектованы вакуумными насосами. Анализ технического состояния средств вакуумной иммобилизации в подразделениях ФГКУ «ВГСЧ ДНР» показал необходимость дополнительного оснащения подразделений средствами вакуумной иммобилизации и устройствами для создания вакуума, что подтверждает актуальность данной работы.

Анализ последних исследований и публикаций. Имеющиеся в подразделениях средства транспортной иммобилизации конечностей не обеспечивают надежную иммобилизацию, особенно при переломах бедренной

кости, а штатные иммобилизирующие устройства для стабилизации повреждений частей таза в настоящее время отсутствуют [2]. Для эффективной иммобилизации пострадавшего специалисты ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» разработали и подготовили к производству следующие средства: иммобилизирующие вакуумные носилки НИВ и вакуумные шины ШВ-1. Они соответствуют основным требованиям, предъявляемым к средствам транспортной иммобилизации: эффективное обездвиживание конечностей, простота в использовании, малое время (до 2 мин) приведения в рабочее состояние [3]. Такие средства иммобилизации необходимо оснащать устройствами для создания вакуума (вакуумными насосами).

Анализ конструкций устройств для создания вакуума показал, что для привода их в действие используют мускульную силу и электродвигатель. Для разных моделей создаваемое вакуумметрическое давление обычно равно 40...80 кПа, производительность – 20...70 дм³/мин¹), а масса может достигать 5,4 кг (например, медицинский аспиратор ACCUVAC).

Однако для применения в подразделениях ФГКУ «ВГСЧ ДНР» необходимы источники вакуума (вакуумные насосы), имеющие габариты и массу, облегчающие их длительную транспортировку в стесненных условиях. Необходимость применения вакуумного насоса в экстремальных условиях требует его безотказной работы, возможность легкой очистки при техническом обслуживании и ремонте.

Цель исследования – повышение эффективности оказания неотложной помощи в экстремальных условиях во время ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций за счет сокращения времени приведения в рабочее состояние средств иммобилизации пострадавших.

Результаты исследований. На основании исследований макетов эжекционного и механического вакуумных насосов [4] сделан вывод, что разрабатываемый вакуумный насос должен быть ножным или ручным поршневым насосом возвратно-поступательного действия для создания низкого и среднего вакуума. Основание для такого вывода обусловлено простотой конструкции и надежностью работы поршневых насосов [5].

Расчет производительности вакуумного насоса заключался в определении времени, в течение которого в заданном объеме достигается необходимое вакуумметрическое давление. Рассмотрим откачку газа из герметичного объема V , м³, с эффективной быстротой откачки S_0 , м³/с. При отсутствии остаточного давления, натекания и газовыделения из материала стенок цилиндра можно записать, что

$$Q = P \cdot S_0, \quad (1)$$

где Q – поток газа, $\frac{\text{м}^3 \cdot \text{Па}}{\text{с}}$,

P – давление, Па.

¹) Manuvac. [Электронный ресурс]. URL: https://medpribor-de.ru/catalogue/300-weinmann/640-otsos_mehanicheskiy_transportnyy_manuvac.html (дата обращения: 25.03.2024); ACCUVAC Basic (WM 10709). [Электронный ресурс]. URL: <http://startechmob.ru/weinmann/aspiratory-portativnye/accuvac-basic-wm-10709> (дата обращения: 25.03.2024); Аспиратор портативный с механическим приводом АПМ-МП-1. [Электронный ресурс]. URL: <https://medplant.ru/catalog/aspirator-portativnyy-s-mekhanicheskim-privodom-ape-mp-1/> (дата обращения: 25.03.2024); Pompka próżniowa ręczna KD10516. [Электронный ресурс]. URL: <https://kraftdele.info/pompki-prozniowe/965-pompka-prozniowa-reczna-kd10516.html> (дата обращения: 25.03.2024).

Поскольку

$$Q = -\frac{d}{d\tau}(PV) = -V \frac{dP}{d\tau}, \quad (2)$$

где τ – время, с,

приравнявая правые части уравнений (1) и (2), получим дифференциальное уравнение первого порядка с разделяющимися переменными

$$\frac{dP}{P} = -\frac{S_o}{V} d\tau. \quad (3)$$

Интегрируя обе части уравнения (3), имеем

$$P = P_1 \exp\left(-\frac{S_o}{V} \tau\right), \quad (4)$$

где P_1 – давление в начальный момент времени при $\tau = 0$, Па.

Логарифмируя обе части уравнения (4), получим время τ откачки газа из сосуда с объемом V при изменении давления от P_1 до P с эффективной быстротой откачки S_o

$$\tau = \frac{V}{S_o} \ln \frac{P_1}{P}. \quad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что давление в вакуумной системе уменьшается вдвое за время τ_1 , с,

$$\tau_1 = \frac{V}{S_o} \ln \frac{P_1}{2P} = \frac{V}{S_o} \left(\ln \frac{1}{2} + \ln \frac{P_1}{P} \right) = \frac{V}{S_o} \ln \frac{1}{2} + \frac{V}{S_o} \ln \frac{P_1}{P} = \frac{V}{S_o} \ln \frac{1}{2} + \tau. \quad (6)$$

Из уравнения (6) следует, что для снижения давления откачки газа вдвое, то есть от P до $\frac{1}{2}P_1$, необходимо затратить время, большее на величину $\frac{V}{S_o} \ln \frac{1}{2}$,

чем по формуле (5), где время откачки газа определено при изменении давления от P до P_1 .

В практическом аспекте использование формулы (5) ограничивается стабильностью эффективной быстроты откачки газа S_o в интервале времени откачки, то есть от 0 до τ . Другой ограничивающий фактор – давление

$$P_1 \gg P_{\min},$$

где $P_{\min}$ – предельное вакуумметрическое давление насоса, Па.

Если P_1 достаточно близко к $P_{\min}$, то усиливаются натекание и газовыделение, что приводит к увеличению погрешности вычисления времени.

В таком случае уравнение (3) принимает вид

$$\frac{dP}{P - P_{\min}} = -\frac{S_o}{V} d\tau. \quad (7)$$

Решением уравнения (8) будет выражение

$$P - P_{\min} = (P_1 - P_{\min}) \exp\left(-\frac{S_o}{V} \tau\right). \quad (8)$$

С учетом того, что $P_1 \gg P_{\min}$, получим

$$\tau = \frac{1}{S_o} \ln \frac{P_1}{P - P_{\min}}. \quad (9)$$

Выражение (9) показывает экспоненциальную зависимость давления P от времени откачки τ . Подобную зависимость называют «кривая откачки» (рис. 1).

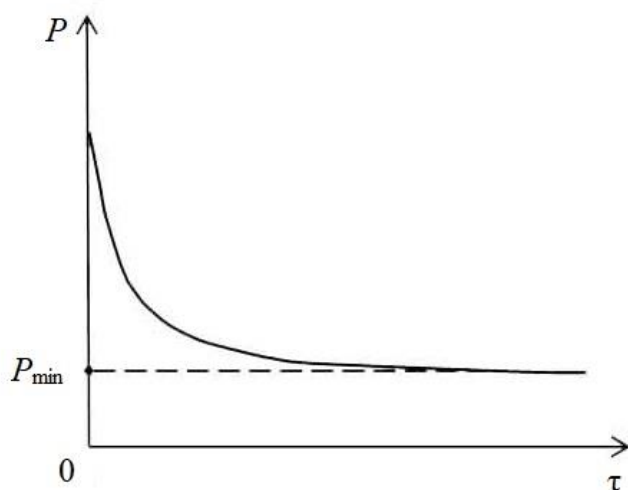


Рис. 1. Экспонента зависимости давления от времени

Выполним расчет времени откачки объема воздуха в вакуумной шине. С учетом того, что эффективная быстрота откачки насоса вакуумного равна $S_o = 0,45 \text{ м}^3/\text{ч} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ (значение получено экспериментальным путем), объем откачиваемого воздуха $V \approx 0,005 \text{ м}^3$, начальное давление в вакуумной шине $P = 10^5 \text{ Па}$, требуемое давление в вакуумной шине $P = 4 \cdot 10^4 \text{ Па}$, время откачки равно

$$\tau = \frac{0,005}{1,25 \cdot 10^{-4}} \ln \frac{10^5}{4 \cdot 10^4} \approx 37,5 \text{ с.}$$

В дальнейшем экспериментальная проверка работы опытного образца вакуумного насоса подтвердила правильность расчетов.

Разработанный ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» вакуумный насос для средств иммобилизации пострадавших НВ-1 предназначен для применения подразделениями МЧС ДНР при ведении аварийно-спасательных работ (табл. 1).

Таблица 1

Технические характеристики насоса вакуумного НВ-1

Наименование параметра	Значение параметра
Длина, мм	300
Ширина, мм	127
Высота, мм	138
Масса, кг	2,61
Вакуумметрическое давление, кПа, не менее	40
Время приведения насоса вакуумного в рабочее положение, мин, не более	2
Средний срок службы, лет, не менее	5

Во втором полугодии 2023 г. отделением опытно-экспериментального производства и научно-исследовательским отделом (безопасности жизнедеятельности) ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» был изготовлен опытный образец вакуумного насоса (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид опытного образца вакуумного насоса НВ-1

В конструкции вакуумного насоса НВ-1 применено резино-фторопластовое уплотнение, которое позволило уменьшить силу трения в паре «поршень – цилиндр» при необходимой герметичности. Вакуумный насос НВ-1 успешно прошел предварительные и приемочные испытания, которые подтвердили надежную работу всех составных узлов насоса и его соответствие требованиям Технического задания.

Разработанный вакуумный насос имеет улучшенные массогабаритные показатели, облегчающие его транспортировку, и удобен в эксплуатации. Его конструкция обеспечивает возможность легкой очистки при эксплуатации,

техническом обслуживании и ремонте, что будет способствовать улучшению условий труда спасателей при оказании неотложной помощи в экстремальных условиях. Применение вакуумного насоса удовлетворит потребность в устройствах создания вакуума в ФГКУ «ВГСЧ ДНР» и сократит время приведения в рабочее состояние средств иммобилизации пострадавших, повысив эффективность оказания неотложной помощи в экстремальных условиях.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Научно обоснованы параметры конструкции вакуумного насоса, которые позволят сократить время приведения в рабочее состояние средств иммобилизации пострадавших и уменьшить количество их отказов.

Внедрение вакуумного насоса для средств иммобилизации пострадавших повысит эффективность оказания неотложной помощи.

Список литературы / References

1. Оценка оказания медицинской помощи на догоспитальном этапе у пострадавших с политравмой в дорожно-транспортных происшествиях арктической зоны Российской Федерации / А. В. Баранов, В. В. Ключевский, Л. И. Меньшикова, Ю. Е. Барачевский, И. В. Петчин // Политравма. – 2018. – № 2. – С. 11–16. – EDN: XSLSST.

Baranov, A. V., Kluchevskiy, V. V., Menshikova, L. I., Barachevskiy, Yu. Ye., Petchin, I. V. *Otsenka okazaniya meditsinskoy pomoshchi na dogospitalnom etape u postradavshikh s politravmoy v dorozhno-transportnykh proisshestviyakh arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii* [Assessment of prehospital medical care provision at the prehospital stage for victims with polytrauma in road accidents in the Arctic zone of the Russian Federation]. *Polytravma*, 2018, no. 2, pp. 11-16. EDN: XSLSST. (In Russian)

2. Козопас, В. С. Современные способы и методы лечения переломов костей таза / В. С. Козопас // Новости хирургии. – 2016. – Т. 24, № 6. – С. 601–609. DOI: 10.18484/2305-0047.2016.6.601. – EDN: XQVWKN.

Kozopas, V. S. *Sovremennyye sposoby i metody lecheniya perelomov kostey taza* [Modern methods and techniques for treating pelvic bone fractures]. *Novosti khirurgii*, 2016, vol. 24, no. 6, pp. 601-609. DOI: 10.18484/2305-0047.2016.6.601. EDN: XQVWKN. (In Russian)

3. Способ транспортной иммобилизации раненых и пострадавших / И. В. Кажанов, А. В. Денисов, С. И. Микитюк, М. Г. Кобиашвили // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2017. – № 4. – С. 5–12. – DOI: 10.25016/2541-7487-2017-0-4-05-12. – EDN: QZMCVJ.

Kazhanov, I. V., Denisov, S. I., Mikityuk, S. I., Kobiashvili, M. G. *Sposob transportnoy immobilizatsii ranenyykh i postradavshikh* [Method of transport immobilization of the wounded and injured]. *Mediko-biologicheskiye i sotsialno-psikhologicheskiye problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*, 2017, no. 4, pp. 5-12. DOI: 10.25016/2541-7487-2017-0-4-05-12. EDN: QZMCVJ. (In Russian)

4. Медгаус, В. М. Разработка требований к конструкции устройства для создания вакуума в средствах иммобилизации пострадавших / В. М. Медгаус, Н. Н. Попов // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2023. – № 3(60). – С. 90–97. – EDN: VJXKXB.

Medgaus, V. M., Popov, N. N. *Razrabotka trebovaniy k konstruksii ustroystva dlya sozdaniya vakuuma v sredstvakh mobilizatsii postradavshikh* [Development of requirements for a vacuum pump construction employed in devices for immobilization of victims]. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 3(60), pp. 90-97. EDN: VJXKXB. (In Russian)

5. Ощепков, Д. В. Исследование проблем поршневых насосов / Д. В. Ощепков // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. – 2011. – № 5–2. – С. 73–77. – EDN: RSHBCT.

Oshchepkov, D. V. *Issledovaniye problem porshnevykh nasosov* [Investigation of piston pump issues]. *Intellectualnyy potentsial XXI veka: stupeni poznaniya*, 2011, no. 5–2, pp. 73-77. EDN: RSHBCT. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. Г. Агеевым
Дата поступления рукописи 08.10.2024
Дата опубликования 19.12.2024

Vladimir Mikhaylovich Medgaus, head of department; e-mail: vladimir_medgaus@mail.ru;
Ruslan Sergeyevich Pletenetskiy, senior scientific associate; e-mail: zoloto-russland@yandex.ru;
Nikolay Aleksandrovich Galukhin, senior scientific associate; e-mail: niigd.osmas-7@mail.ru
Federal State Institution "The Scientific Research Institute "Respirator" EMERCOM of Russia"
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +7 (856) 332-78-45

JUSTIFICATION OF THE VACUUM PUMP PARAMETERS FOR THE VICTIMS IMMOBILIZATION DEVICES

Objective. Improve the emergency care effectiveness in extreme conditions during the liquidation of the emergency situations consequences by reducing the time to bring the victims immobilization devices into operation condition.

Methods. Analytical methods for studying the pump operation as a sample of vacuum techniques.

Results. The pump operation as a sample of vacuum technology has been considered, its technical parameters have been determined, which were used in the prototype design.

Scientific novelty. A sample has been developed on the basis of the vacuum pump parameters for the victims immobilization devices, which made it possible to reduce the time to bring them into operation condition and reduce the number of failures.

Practical value. The vacuum pump prototype for the victim immobilization devices has successfully passed acceptance tests, has improved weight and size characteristics that facilitate its transportation, and is convenient to operate.

Keywords: vacuum pump; victim immobilization devices; pre-hospital stage; pumping speed; emergency situations.

For citation. Medgaus, V. M., Pletenetskiy, R. S., Galukhin, N. A. Justification of the vacuum pump parameters for the victims immobilization devices. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 4(61), pp. 107-113. EDN: QBVTOC

УДК [614.8:336.532.2]:001.891.572

*Анатолий Валерьевич Рыбаков, д-р техн. наук, проф. каф.; e-mail: anatoll_rubakov@mail.ru;
Павел Анатольевич Янышев, адъюнкт; e-mail: yanishevvp@gmail.com*

*Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение
высшего образования «Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий
стихийных бедствий имени генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика»*

141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А.

Тел.: +7 (498) 699-07-28

Александр Юрьевич Поляков, нач. отд. – зам. нач.; e-mail: polyakov.al@yandex.ru

Управление гражданской обороны Главного управления МЧС России

по Калининградской области

236029, г. Калининград, ул. Озерная, 31. Тел: +7 (4012) 52-91-01

ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ, НЕПОСРЕДСТВЕННО ВЛИЯЮЩИХ НА СНИЖЕНИЕ УЩЕРБА ОТ ВОЗМОЖНЫХ АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Цель. Обоснование мероприятий, непосредственно влияющих на снижение ущерба от возможных аварий на опасных производственных объектах и оптимальное распределение финансовых средств.

Методы. Анализ учета и влияния мероприятий государственной политики в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на причины аварий на объектах добычи и переработки нефти.

Результаты. Разработаны основные этапы методики обоснования мероприятий, реализуемых в рамках государственной политики в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 г. Сформулирована задача оптимизации по минимизации ущерба за счет влияния на объемы мероприятий защиты от чрезвычайных ситуаций. Представлены результаты корреляционного анализа объемов мероприятий, построена зависимость ущерба от объемов мероприятий по реализации указанной государственной политики.

Научная новизна. Впервые предложен метод количественной оценки влияния мероприятий на снижение ущерба от возможных аварий на опасных производственных объектах.

Практическая значимость. Разработанная методика позволяет планировать распределение средств, выделенных в рамках государственной политики в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: *нефтеперерабатывающие объекты; объекты нефтедобычи; ущерб от аварий; защита населения и территорий; мероприятия в области защиты от чрезвычайных ситуаций.*

Для цитирования: Рыбаков А. В., Янышев П. А., Поляков А. Ю. Обоснование мероприятий, непосредственно влияющих на снижение ущерба от возможных аварий на опасных производственных объектах // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 4(61). – С. 114–124. – EDN: YUMFRD.

Постановка проблемы. Одним из самых важных аспектов благополучия государства является обеспечение защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Особенную актуальность в нашей стране имеет постоянное совершенствование механизмов повышения эффективности этой деятельности ввиду масштабов территории, сложности влияния различных поражающих факторов на объекты инфраструктуры, расположенные в субъектах

Российской Федерации. В то же время система обеспечения защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций сталкивается с новыми вызовами и угрозами, вызванными негативным изменением окружающей среды, а также усложнением технологических процессов. Это влечет за собой увеличение размеров ущерба в результате аварий, вызванных ухудшением состояния элементов опасных производственных объектов.

Подтверждением высокой актуальности указанных проблем является реализация основ государственной политики в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций [1]. Данный нормативный документ содержит основные мероприятия, реализуемые в рамках тех или иных направлений, а также определяет основные показатели оценки эффективности реализуемой деятельности субъектов в данной области.

Анализ последних исследований и публикаций. В практической реализации названных основ существует ряд сложностей [2–5]. В частности, с одной стороны, анализ статистических данных о произошедших чрезвычайных ситуациях свидетельствует о том, что имеют место тенденции либо к увеличению их количества (в зависимости от вида), либо к росту ущерба (рис. 1). С другой стороны, исполнительная власть субъектов при формировании бюджета региона закладывает колоссальные суммы на реализацию мероприятий по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций.

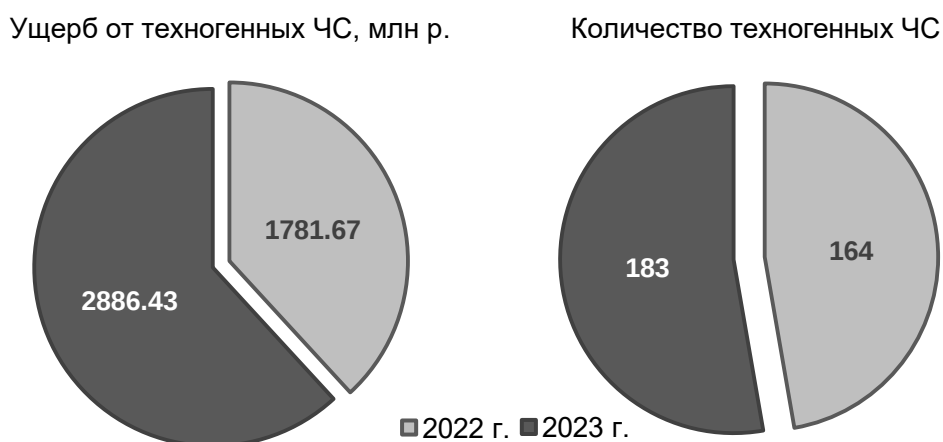


Рис. 1. Статистика чрезвычайных ситуаций техногенного характера в Российской Федерации

Стоит отметить, что в настоящий момент не представляется возможным оценить эффективность планирования и дальнейшее освоение финансовых средств, т. е. реальное отсутствие показателей затрудняет управление государственной политикой в области защиты населения и территорий. Эта проблема в конечном итоге приводит не только к неэффективности распределения бюджетных средств, но и к большому количеству жертв и материальному ущербу. Проблемой также является отсутствием научно-методического аппарата, позволяющего связать показатели эффективности (под которым понимается коэффициент значимости проводимых мероприятий)

с объемами планируемых мероприятий. Здесь стоит отметить, что одним из ключевых показателей эффективности реализации государственной политики в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций является показатель ущерба, а разрабатываемый научно-методический аппарат обоснования объемов мероприятий должен позволять принимать решения, направленные на снижение ущерба.

Рассмотрим на примере объектов нефтяной промышленности предлагаемый методический подход обоснования мероприятий, непосредственно влияющих на снижение ущерба от возможных аварий на опасных производственных объектах (табл. 1). Представлены данные по ущербу от аварий на нефтедобывающих и перерабатывающих объектах и средства, выделяемые на мероприятия в рамках государственной политики в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 г. [2, 3].

Таблица 1

Статистические данные по авариям на объектах добычи и переработки нефти, а также средств, затраченных на мероприятия по предотвращению аварий

Год	Количество аварий	Ущерб от аварий, млн р.	Средства, выделяемые на мероприятия, тыс. р.
2014	23	1 201	6 349
2015	27	238	7 547
2016	23	357	6 573
2017	26	289	9 494
2018	14	450	13 571
2019	26	1 740	10 629
2020	17	5 319	11 153
2021	15	3 582	10 482
2022	14	2 277	8 996
2023	9	455	10 359

Анализ статистических данных по объектам добычи и переработки нефти позволил выявить и сгруппировать часто встречающиеся причины аварий, которые перерастали в чрезвычайные ситуации [4]:

- неисправность электрооборудования;
- нарушение алгоритмов действия, требований безопасности сотрудниками;
- стороннее механическое воздействие;
- нарушение проектных решений;
- коррозия оборудования и материалов;
- разрушение материалов, оборудования;
- превышение нагрузки, установленной нормами и проектной документацией;
- некачественный монтаж, установка или ремонт оборудования;
- неисправное оборудование, низкое качество материалов;
- ошибки в проектных решениях промышленных объектов или установок.

Таким образом, обоснование мероприятий, направленных на смягчение последствий возможных чрезвычайных ситуаций или аварий, является актуальной задачей.

В работе [5] проведена систематизация мероприятий, которые непосредственно планируют и реализуют органы власти субъектов Российской Федерации в области защиты населения и территорий. Из всего перечня, а в нем примерно 70 мероприятий, было выбрано 13, которые, согласно отчетам [4], выполняют на объектах добычи и переработки нефти [6, 7].

Исходя из сложившейся проблемной ситуации, заключающейся в увеличении ежегодного ущерба по данным МЧС России [4, 5], от чрезвычайных ситуаций, в том числе техногенного характера, требуется постановка и решение следующей задачи по планированию и реализации мероприятий защиты населения и территорий.

Цель. Обоснование мероприятий, непосредственно влияющих на снижение ущерба от возможных аварий на опасных производственных объектах и оптимальное распределение финансовых средств.

Результаты исследований. Для заданного перечня и объемов мероприятий¹ защиты населения и территорий, которые определяются финансовыми средствами для их реализации, а также с учетом выявленных причин аварий, необходимо определить такие объемы мероприятий, которые будут способствовать снижению ущерба от чрезвычайной ситуации:

$$U = f(P_1, P_2, \dots, P_{10}, V_1, V_2, \dots, V_{13}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где U – показатель ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного характера, р.;

$P_1, P_2, \dots, P_{10}$ – причины аварий, принятых на основе статистических данных [4];

$V_1, V_2, \dots, V_{13}$ – объемы мероприятий, реализуемые в рамках государственной политики в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, на объектах добычи и переработки нефти (при заданных ограничениях на выделяемые финансовые ресурсы), р.

Сформулированная задача является оптимизационной, где в качестве целевой функции выступает показатель ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного характера. Поэтому на первом этапе необходимо построить зависимость показателя ущерба от объемов проводимых мероприятий по защите населения и территорий, т. е. решить задачу:

$$U = f(V_1, V_2, \dots, V_{13}) \rightarrow \min.$$

В соответствии с информацией, приведенной в государственных докладах МЧС России [2, 3] и отчетах Ростехнадзора [4], были сформированы таблицы затрат на мероприятия, реализуемые в рамках государственной политики и направленные на защиту населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на объектах добычи и переработки нефти. В них также представлены показатели ущерба и объемов средств, выделенных на мероприятия, которые были

¹ Под объемом мероприятий в Указе Президента Российской Федерации от 11 января 2018 года № 12 [1] понимается финансовые средства для их реализации.

реализованы в рамках государственной политики в области обеспечения безопасности (табл. 2).

Результаты анализа данных исследований позволили сформировать для аварий, которые произошли по причине нарушения требований безопасности сотрудниками, алгоритма действий. Важным аспектом является выбор мероприятий, которые непосредственно влияют на снижение последствий аварий, вызванных конкретной причиной, а также оценить влияние мероприятий друг на друга. Для этого требуется применение корреляционного анализа, который предполагает вычисление корреляционной матрицы между всеми параметрами (мероприятиями), по которым имеются статистические данные [8–10]. Это позволит определить степень взаимосвязи между ними (табл. 3).

Таблица 2

Статистические данные затрат на мероприятия по предотвращению аварий и ущерба от чрезвычайных ситуаций на объектах добычи и переработки нефти по причине P_2 – «Нарушение алгоритма действия, требований безопасности сотрудниками»

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Объемы средств, выделяемых на мероприятия, тыс. р.									
V_1	57,6	5,9	162	326	307	396	285	0,0	0,0
V_2	57,6	5,9	0	326	307	0	285	0,0	0,0
V_3	0,0	5,9	0	326	307	396	285	0,0	0,0
V_4	57,6	5,9	0	326	307	396	285	0,0	0,0
V_5	57,6	5,9	162	326	307	396	285	202	351
V_6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	488	0,0	0,0	0,0
V_7	0,0	0,0	0,0	0,0	3 878	4 068	0,0	0,0	3 682
V_8	2 589	2 131	3 321	4 778	3 878	4 068	3 946	3 496	3 682
V_9	897	1 017	841	900	430	268	442	804	754
V_{10}	0,0	0,0	0,0	0,0	430	0,0	442	0,0	0,0
V_{11}	17,9	36,3	0,0	7,19	15,5	0,0	10,3	0,0	0,0
V_{12}	0,0	3,86	0,0	0,0	0,0	4,37	3,60	3,2	3,65
V_{13}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,37	3,60	3,2	0,0
Ущерб, млн р.	81,367	13,743	2,923	419,294	381,239	84,202	831,562	667,398	112,836

Элементы этой матрицы представляют собой значения парных корреляций между рассматриваемыми объемами мероприятий, которые вычисляют по формуле (2):

$$r_{V_j V_k} = \frac{\sum_{i=1}^9 ((V_{j_i} - M_{V_j})(V_{k_i} - M_{V_k}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^9 (V_{j_i} - M_{V_j})^2 \sum_{i=1}^9 (V_{k_i} - M_{V_k})^2}}, \quad (2)$$

где V_{ji} – значения, принимаемые параметром V_j (объем j -го мероприятия);
 V_{ki} – значения, принимаемые параметром V_k (объем k -го мероприятия, $j \neq k$);
 M_{V_j} – математическое ожидание параметра V_j ;
 M_{V_k} – математическое ожидание параметра V_k , $i = \overline{1,9}$.

Проведенный корреляционный анализ позволил выявить высокую зависимость между некоторыми параметрами (мероприятиями), в табл. 3 значения их коэффициентов корреляции выделены жирным курсивом.

Таблица 3

Корреляционная матрица между рассматриваемыми параметрами

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}	V_{12}	V_{13}
V_1	1,00												
V_2	0,61	1,00											
V_3	0,95	0,66	1,00										
V_4	0,95	0,67	0,99	1,00									
V_5	0,64	0,35	0,70	0,66	1,00								
V_6	0,53	–0,27	0,53	0,54	0,45	1,00							
V_7	0,33	–0,03	0,40	0,39	0,66	0,54	1,00						
V_8	0,72	0,59	0,74	0,71	0,90	0,25	0,32	1,00					
V_9	–0,71	–0,27	–0,74	–0,73	–0,71	–0,63	–0,66	–0,51	1,00				
V_{10}	0,44	0,71	0,48	0,48	0,27	–0,19	0,18	0,26	–0,59	1,00			
V_{11}	–0,23	0,12	–0,15	–0,12	–0,68	–0,30	–0,28	–0,65	0,36	0,15	1,00		
V_{12}	–0,16	–0,41	0,01	–0,03	0,17	0,43	0,23	–0,11	–0,28	–0,07	–0,02	1,00	
V_{13}	0,35	–0,08	0,42	0,41	0,40	0,62	0,11	0,30	–0,65	0,18	–0,39	0,64	1,00

Так, например, мероприятие V_1 (объем финансовых ресурсов, выделяемых в рамках реализации данного мероприятия, которое заключается в развитии систем мониторинга и прогнозирования опасных процессов и явлений, производственной, транспортной и социальной инфраструктуры, биолого-социальных опасностей и военных угроз в интересах раннего предупреждения об опасностях), оказывает значительное влияние на следующие мероприятия:

– объем финансовых ресурсов, выделяемых в рамках реализации мероприятия, направленные на внедрение и развития иных перспективных автоматизированных информационных систем в области мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций – V_3 ;

– объем финансовых ресурсов, выделяемых в рамках реализации мероприятия, направленные на совершенствование регионального государственного надзора в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций – V_4 .

Мероприятия V_3 и V_3 имеют между собой сильную корреляцию со значением 0,99, а мероприятия V_5 (объем финансовых ресурсов, выделяемых в рамках реализации мероприятия, направленное на выработку и внедрение системы профилактики чрезвычайных ситуаций) связаны с V_8 (объем финансовых

ресурсов, выделяемых в рамках реализации мероприятия по повышению надежности и оперативности управления производством).

Разработана регрессионная модель, используя метод наименьших квадратов определена математическая зависимость показателя ущерба от проведения мероприятий государственной политики в области защиты населения от чрезвычайных ситуаций на объектах добычи и переработки нефти (3):

$$U = -29,5 \cdot 10^7 - 3803,6 \cdot V_1 - 2864,9 \cdot V_5 - 85,2 \cdot V_7 + 699,7 \cdot V_8 - 1124,5 \cdot V_9 + 768,6 \cdot V_{10} + 0,017 \cdot V_1 \cdot V_3 - 0,013 \cdot V_1 \cdot V_4 \quad (3)$$

Для практического применения (интерпретации) полученной зависимости (3) необходимо учитывать следующие ограничения:

1. $U \geq 0$.

2. Для V_1 и V_8 :

$$3803,6 \cdot V_1 \leq 699,7 \cdot V_8 \Rightarrow V_1 \leq \frac{699,7}{3803,6} \cdot V_8 = 0,184 \cdot V_8,$$

т. е. V_1 должно быть в 5,4 раза меньше V_8 .

3. Для V_5 и V_8

$$2864,9 \cdot V_5 \leq 699,7 \cdot V_8 \Rightarrow V_5 \leq \frac{699,7}{2864,9} \cdot V_8 = 0,244 \cdot V_8,$$

т. е. V_5 должно быть в 4,1 раза меньше V_8 .

4. Для V_7 и V_{10} :

$$85,2 \cdot V_7 \geq 768,6 \cdot V_{10} \Rightarrow V_7 \geq \frac{768,6}{85,2} \cdot V_{10} = 9,02 \cdot V_{10},$$

т. е. V_7 может быть почти в 9 раз больше V_{10} , поскольку коэффициент V_7 значительно меньше, чем V_{10} .

5. Для V_9 и V_{10} :

$$1124,5 \cdot V_9 \leq 768,6 \cdot V_{10} \Rightarrow V_9 \leq \frac{768,6}{1124,5} \cdot V_{10} = 0,684 \cdot V_{10},$$

т. е. V_9 должно быть примерно в 1,5 раза меньше V_{10} .

Поскольку показатель ущерба представлен нелинейным уравнением (3), наименьшие значения неизвестных $V_1, V_3, V_4, V_5, V_7, V_8, V_9, V_{10}$ можно вычислить, используя численные методы для оптимизации, такие как метод Лагранжа [11]. Минимальные положительные значения для переменных:

$$V_1 = 1,35 \cdot 10^{-9}; V_3 = 1; V_4 = 1; V_5 = 1,35 \cdot 10^{-9}; V_7 = 1,35 \cdot 10^{-9}; \\ V_8 = 124016; V_9 = 1,35 \cdot 10^{-9}; V_{10} = 270916.$$

Безусловно, при дефиците выделяемых финансовых средств такой подход является достаточно грубым. Но полученный результат позволяет с практической точки зрения обосновать не только мероприятия, который непосредственно будут

влиять на устранение конкретной причины по критерию снижения ущерба, но и установить зависимость ущерба от реализуемых объемов мероприятий. Полученные в формуле (3) коэффициенты регрессии свидетельствуют о том, что минимизация ущерба достигается финансированием мероприятий V_8, V_{10} .

Выводы. Установлена математическая зависимость ущерба U от объемов мероприятий, что позволяет определять оптимальное распределение финансовых средств.

На основе полученной зависимости (3) было выявлено, что наиболее значимое влияние на снижение ущерба оказывают мероприятия, связанные с:

- повышением надежности и оперативности управления производством (V_8);
- развитием систем мониторинга и прогнозирования (V_{10}).

Представленный методический подход базируется на анализе государственных мер в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и предполагает оптимизацию распределения финансовых ресурсов для повышения эффективности предотвращения аварий.

Полученные результаты позволяют научно обоснованно формировать планы финансирования мероприятий, направленных на снижение вероятности и последствий аварий, что особенно актуально для объектов добычи и переработки нефти, где высок риск техногенных аварий.

Разработанная методика может быть использована органами государственной власти и промышленными предприятиями для повышения эффективности бюджетного планирования и обеспечения максимальной защиты населения и территорий.

Список литературы / References

1. Указ Президента Российской Федерации от 11 января 2018 г. № 12 «Основы государственной политики в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года» – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_287639/ (дата обращения 18.09.2024).

Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 11 yanvarya 2018 g. № 12 «Osnovy gosudarstvennoj politiki v oblasti zashhity naseleniya i territorij ot chrezvy`chajny`h situacij na period do 2030 goda» [President of the Russian Federation Decree No. 12 dated January 11, 2018. «Fundamentals of the State Policy in the Field of Protection of the Population and Territories from Emergencies for the Period Until 2030»] – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_287639/ (accessed: 18.09.2024). (In Russian)

2. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2023 году» – URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/7343> (дата обращения: 15.08.2024).

Gosudarstvenny`j doklad «O sostoyanii zashhity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvy`chajny`h situacij prirodnogo i tehnogennogo haraktera v 2023 godu» [State Report «On the State of Protection of the Population and Territories of the Russian Federation from Natural and Technogenic Emergencies in 2023»] – URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/7343> (accessed: 15.08.2024). (In Russian)

3. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году» – URL: <https://mchs.gov.ru/deyatelnost/itogi-deyatelnosti-mchs-rossii/2022-god> (дата обращения: 15.08.2024).

Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii zashhity` naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvy`chajny`h situacij prirodnogo i tehnogennoho haraktera v 2022 godu» [State Report «On the State of Protection of the Population and Territories of the Russian Federation from Natural and Technogenic Emergencies in 2022»]. URL: <https://mchs.gov.ru/deyatelnost/itogi-deyatelnosti-mchs-rossii/2022-god> (accessed: 15.08.2024). (In Russian)

4. Официальный сайт федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Надзор за объектами нефтегазового комплекса. Уроки, извлеченные из аварий – URL: <https://gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> (дата обращения: 20.09.2024).

Oficial`nyj sajт federal`noj sluzhby` po e`kologicheskomu, texnologicheskomu i atomnomu nadzoru. Nadzor za ob`ektami neftegazovogo kompleksa. Uroki, izvlechenny`e iz avarij [Federal Environmental, Technological, and Nuclear Supervision Service. Supervision of oil and gas facilities. Lessons learned from accidents]. URL: <https://gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> (accessed: 20.09.2024). (In Russian)

5. Нестеров, В. А. Обоснование рационального плана мероприятий по реализации государственной политики в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на территории субъекта Российской Федерации: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 20.02.24. – Химки. Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика. 2020. 168 с.

Nesterov, V. A. *Obosnovanie racional`nogo plana meropriyatij po realizacii gosudarstvennoj politiki v oblasti zashhity` naseleniya i territorij ot chrezvy`chajny`h situacij na territorii sub`ekta Rossijskoj Federacii: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehničeskix nauk: 20.02.24* [Justification of a rational plan of measures for implementing state policy in the field of protection of the population and territories from emergencies in the subject of the Russian Federation: Dissertation ... Candidate of Technical Sciences: 20.02.24.]. Khimki: Academy of Civil Defense of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2020. 168 p. (In Russian)

6. Кавьяр, А. Ю. Административно-правовой механизм обеспечения прав граждан Российской Федерации в сфере защиты населения от чрезвычайных ситуаций: магистерская диссертация: 2023 / А.Ю. Кавьяр; науч. рук. А.Н. Станкин; ТГУ. – Тольятти, 2023. – 70 с.

Kavyar, A. Yu. *Administrativno-pravovoj mehanizm obespecheniya prav grazhdan Rossijskoj Federacii v sfere zashhity` naseleniya ot chrezvy`chajny`h situacij: magisterskaya dissertaciya* [Administrative and legal mechanism for ensuring the rights of citizens of the Russian Federation in the field of protection of the population from emergencies: Master's dissertation]. Tolyatti: Tolyatti State University, 2023. 70 p. (In Russian)

7. Нестеров, В. А. Реализация информационной системы оценки состояния защиты субъекта (арктической зоны) Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций / В. А. Нестеров, Р. А. Ерохин, Е. В. Иванов // «Моделирование сложных процессов и систем»: сборник трудов секции № 12 XXX Международной научно-практической конференции «Предотвращение. Спасение. Помощь», 19 марта 2020 г. – ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России. – 2020. – С. 11–17.

Nesterov, V. A., Erokhin, R. A., Ivanov, E. V. *Realizaciya informacionnoj sistemy` ocenki sostoyaniya zashhity` sub`ekta (arkticheskoy zony)` Rossijskoj Federacii ot chrezvy`chajny`h situacij* [Implementation of an information system for assessing the state of protection of a subject (Arctic zone) of the Russian Federation from emergencies]. «Modeling of complex processes and systems»: Proceedings of Section No. 12 of the XXX International Scientific and Practical Conference "Prevention. Rescue. Assistance", March 19, 2020. FSBEI MES of Russia, 2020. pp. 11-17. (In Russian)

8. Шаныгин, С. И. Корреляционный и регрессионный анализ: учебник для вузов / С. И. Шаныгин; ответственный редактор В. В. Ковалев. – Москва: Изд-во Юрайт, 2024. – 70 с.

Shanygin, S. I. *Korrelyacionny`j i regressionny`j analiz : uchebnik dlya vuzov* [Correlation and regression analysis: Textbook for universities]. Edited by V. V. Kovalev. Moscow: Yurait, 2024. 70 p. (In Russian)

9. Бендат, Дж. Применение корреляционного и спектрального анализа / Дж. Бендат, А. Пирсол. – Москва: Мир, 1983. – 312 с.

Bendat, J., Piersol, A. *Primenenie korrelyacionnogo i spektral`nogo analiza* [Application of correlation and spectral analysis]. Moscow: Mir, 1983. 312 p. (In Russian)

10. Верескун, А. В. Повышение уровня защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций: механизмы стратегического планирования / А. В. Верескун, И. В. Жданенко // Технологии гражданской безопасности. – 2018. – Т. 15, № 3 (57). – С. 20–25.

Vereskun, A. V., Zhdanenko, I. V. *Povy`shenie urovnya zashhity` naseleniya i territorij ot chrezvy`chajny`h situacij: mehanizmy` strategicheskogo planirovaniya* [Enhancing the level of protection of the population and territories from emergencies: Strategic planning mechanisms]. Civil Security Technologies. 2018, vol. 15, no. 3(57), pp. 20-25. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 28.11.2024
Дата опубликования 19.12.2024

Anatoly Valerievich Rybakov, doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information Systems and Technologies, e-mail: anatoll_rubakov@mail.ru;

Pavel Anatolyevich Yanyshhev, associate Professor of the Scientific Research Center Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia, e-mail: yanyshhevp@gmail.com
Federal State Budgetary Military Educational Institution of Higher Education "Academy of Civil Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters named after Lieutenant General D. I. Mikhaylik"
141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya str., build. 1A
Phone: +7 (498) 699-07-28

Alexander Yuryevich Polyakov, Head of the Department – Deputy Head; e-mail: polyakov.al@yandex.ru
Civil Defense Department of the Main Directorate, Ministry of Emergency Situations of Russia for the Kaliningrad Region, Kaliningrad, Russian Federation
23602931, Kaliningrad, Ozeraya str. Phone: +7 (4012) 52-91-01

ON THE APPROACH TO SUBSTANTIATE THE LIST OF MEASURES THAT DIRECTLY AFFECT THE REDUCTION OF DAMAGE FROM POSSIBLE ACCIDENTS AT HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES

Objective. Justification of measures that directly affect the reduction of damage from possible accidents at hazardous production facilities and the optimal allocation of financial resources.

Methods. Analysis of the accounting and impact of state policy measures in the field of protection of the population and territories from emergency situations on the causes of accidents at oil production and refining facilities.

Results. The main stages of the methodology for substantiating measures implemented within the framework of the state policy in the field of protection of the population and territories from emergency situations for the period up to 2030 have been developed. The task of optimizing damage minimization due to the impact on the volume of emergency protection measures has been formulated. The results of the correlation analysis of the volume of measures are presented, the dependence of damage on the volume of measures for the implementation of the specified state policy is constructed.

Scientific novelty. For the first time, a method for quantifying the impact of measures on reducing damage from possible accidents at hazardous production facilities has been proposed.

Practical significance. The developed methodology makes it possible to plan the distribution of funds allocated within the framework of state policy in the field of protection of the population and territories from emergency situations.

Keywords: oil refining facilities; oil production facilities; damage from accidents; protection of the population and territories; measures in the field of protection from emergency situations.

For citation: Rybakov A. V., Yanyshhev P. A., Polyakov A. Yu. On the approach to substantiate the list of measures that directly affect the reduction of damage from possible accidents at hazardous production facilities. *Nauchnyy vestnik NII "Respirator"*, 2024, no. 4(61), pp. 114-124. – EDN: YYMFRD.

**Указатель статей, опубликованных в журнале
«Научный вестник НИИ «Респиратор» за 2024 год**

Пожарная безопасность	Вып.	Стр.
Агарков Ал. В. Исследование теплообменных процессов в горных выработках шахт при пожарах	1	38
Агеев В. Г., Пефтибай Г. И., Галухин Н. А., Медгаус В. М. Комплексная оценка эффективности переносных устройств пожаротушения тонкораспыленной водой	1	7
Агеев В. Г., Пефтибай Г. И., Галухин Н. А., Медгаус В. М. Эффективность утолщенного газокapельного сопла установки для тушения пожаров тонкораспыленной водой	2	7
Булкин С. А., Шарифуллина Л. Р., Гузенков С. А. Выбор сорбентов для ликвидации разливов токсичных веществ с помощью генеративных моделей и классических методов математической оптимизации	4	26
Калякин С. А., Лабинский К. Н., Головченко Е. А., Белокобыльский М. А. Связь энергии активации угольного аэрозоля с пожаровзрывоопасностью	3	7
Канин В. А., Агеев В. Г. Совершенствование огнезащитных покрытий на основе карбамидоформальдегидной смолы	4	7
Канищев Н. А., Завьялов Г. В. Обоснование противопожарной защиты объектов целлюлозно-бумажной промышленности	3	41
Ковалев А. П., Бершадский И. А., Мых А. Д., Згарбул А. В. Оценка рисков возникновения пожаров при эксплуатации электрифицированных помещений	1	29
Лабинский К. Н., Томилов М. К. Определение огнетушащей способности водных растворов, модифицированных неорганическими соединениями	4	18
Лебедева В. В., Храпоненко О. В., Щербакова О. Н. Хроматографический метод определения остатков многокомпонентных растворителей в пробах после пожаров	1	17
Лебедева В. В., Храпоненко О. В., Щербакова О. Н. Подвижная фаза для идентификации нефтепродуктов методом тонкослойной хроматографии	4	37
Лебедева В. В., Томилов М. К. Влияние физических свойств водных композиций на их огнетушащую способность	3	32

	Вып.	Стр.
Мамаев В. В., Агарков Ал. В. Исследование нестационарных процессов массопереноса в горных выработках шахт при экзогенных пожарах	2	29
Мамаев В. В., Агарков Ал. В., Буряк Д. С., Дикенштейн И. Ф. Метод оценки температуры в горных выработках шахт по концентрациям пожарных газов	3	15
Симонов А. М., Мавроди А. В., Ивахненко А. В. Продолжительность переходного газодинамического процесса в изолированном пожарном участке шахты	3	24
Осадчий А. В., Земляк Г. Н., Разиньков С. В., Шиш О. С. Обоснование параметров установки для сушки пожарных напорных рукавов	2	44
Тимошенко Д. А., Балта Д. Ф., Буряк Д. С., Дикенштейн И. Ф. Исследование процессов тушения низовых лесных пожаров мелкораспыленной водой	2	32

Безопасность труда

Балов С. В., Трунов Л. Ф. Исследование условий ведения горных работ на концевых участках лав для снижения трудоемкости	1	65
Головченко Е. А., Гусар Г. А. Энергия активации процесса окисления наночастиц угольной пыли	1	48
Драган С. П., Ковалёв Р. К., Богомолов А. В., Лизунов В. Ю. Критерии регистрации акустического рефлекса органа слуха	3	69
Иваненко А. Ф., Мухин П. Е. Обоснование научно-методических подходов к оценке профессионального риска горноспасателей	2	65
Ивахненко А. В. Ведение горных работ в условиях повышенных температур шахтного воздуха	2	85
Канин В. А., Пивень Ю. А. Основные приоритеты повышения безопасности горных работ	3	59
Капран Л. Н., Сытник А. А., Кирич В. Н., Федористова А. А. Обоснование параметров искусственных сооружений из альтернативных материалов для охраны горных выработок	1	74
Кулакова С. И., Павлов В. И. Причины газовой аварийности угольных шахт Донбасса в постприватизационный период	3	50

	Вып.	Стр.
Мамаев В. В., Плетенецкий Р. С., Зборщик Л. А., Францев В. И. Применение искусственных газовых сред в изолирующих дыхательных аппаратах	2	54
Мельников С. А., Капран Л. Н., Кирин В. Н., Литвинов В. В. Обеспечение устойчивого поддержания подготовительных выработок с применением крепи усиления	4	72
Петренко П. П., Рыбаков А. В., Иванов Е. В., Кузьмин А. В. Оценка защищенности спасателей при проведении аварийно-спасательных работ путем установки крепей	4	65
Ранга Н. Г., Кирьян А. П., Ефименко В. Л., Хацько М. С. Дыхательный аппарат конструкции С. И. Фесенко: начало газодымозащитной службы страны	2	74
Симонов А. М., Мавроди А. В., Ивахненко А. В. Проветривание горных выработок при аварийных отключениях систем дегазации	1	56
Черкесов В. В., Мороз Т. О. Оценка психоэмоционального статуса пожарных-спасателей МЧС России	4	55
Черкесов В. В., Петров А. В. Возможности психофизиологической адаптации спасателей при использовании современной аварийно-спасательной техники (Информационно-аналитический анализ. Часть 2)	4	44
Безопасность в чрезвычайных ситуациях		
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	3	82
Гарбузов А. П., Капран Л. Н., Кирин В. Н., Федористова А. А. Анализ и обобщение состояния горных выработок на шахтах ДНР	2	112
Добрякова Е. И. Исследование закономерностей работы подразделений МЧС в условиях военного конфликта	1	106
Долженков А. Ф., Мороз Т. О., Джалетова Е. К. Методы оценки физиологического и психологического состояния спасателей в экстремальных условиях	1	86
Долженков А. Ф., Мороз Т. О. Комплексный подход при создании высокоэффективных средств индивидуальной защиты спасателей	2	93
Канин В. А., Храпоненко О. В., Щербакова О. Н. Оптимизация свойств пропитки для огнезащитной обработки древесины	3	104

	Вып.	Стр.
Кузьмин А. В., Исаева А. Р., Зинкевич Р. Н. Методика оценки рисков природного характера при формировании паспорта безопасности территории	3	112
Лебедева В. В., Непочатых И. Н., Храпоненко О. В. Экспериментальная оценка влияния сульфатсодержащих соединений на снижение горючести древесины	1	96
Лебедева В. В., Томилов М. К. Влияние антипиренов на повышение огнетушащей способности воды	2	103
Лебедева В. В., Храпоненко О. В. Оценка устойчивости огнезащищенной древесины к воздействию влажности	2	120
Мамаев В. В., Костюк Е. Р. Экологическая оценка последствий консервации и закрытия угольных шахт	4	79
Медгаус В. В., Плетенецкий Р. С., Галухин Н. А. Обоснование параметров вакуумного насоса для средств иммобилизации пострадавших	4	107
Медгаус В. М., Плетенецкий Р. С., Зборщик Л. А., Францев В. И. Анализ технических характеристик учебных самоспасателей и методик обучения с их применением	1	118
Рыбаков А. В., Янышев П. А., Поляков А. Ю. Обоснование мероприятий, непосредственно влияющих на снижение ущерба от возможных аварий на опасных производственных объектах	4	114
Самигуллин Г. Х., Евлоев З. Б. Оценка вероятности эскалации аварий на объектах производства и хранения сжиженного природного газа	4	97
Черкесов В. В., Петров А. В. Возможности психофизиологической адаптации спасателей при использовании современной аварийно-спасательной техники (Информационно-аналитический анализ. Часть 1)	3	93
Шаповалов В. В., Журавлев С. В., Берестовая А. А. Утилизация пероксидных компонентов средств регенерации воздуха с получением функциональных медьсодержащих материалов	4	86

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 возвратить 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 насколько 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 отрецензированный 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, № 4 (61)

На русском языке

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

Издатель: Министерство Российской Федерации по делам гражданской
обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных
бедствий (г. Москва, ул. Ватутина, 1); Федеральное государственное
казенное учреждение «Научно-исследовательский институт «Респиратор»
МЧС России» (г. Донецк, ул. Артема, 157)

Ответственный редактор Л. В. Барзий

Редактор О. К. Межова

Поступившие на издание авторские рукописи проходят рецензирование

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

Подписано в печать 19.12.2024. Дата выхода в свет 24.12.2024.
Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать лазерная.
Усл. печ. л. 15,69. Тираж 20 экз. Заказ № 4. Распространяется бесплатно.

ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»

ул. Артема, 157, Донецк, 283048

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

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

URL: <https://niirespirator.organizations.mchs.gov.ru/vestnik>