



НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК НИИ «РЕСПИРАТОР»

3

2026

**Коллектив ФГКУ НИИ «Респиратор»
во главе с начальником, кандидатом технических наук
Андреем Петровичем Кирьяном сердечно поздравляет
с 80-ЛЕТНИМ ЮБИЛЕЕМ
заместителя главного редактора журнала
«Научный вестник НИИ «Респиратор»,
доктора технических наук
ВАЛЕРИЯ ВЛАДИМИРОВИЧА МАМАЕВА**



**Уважаемый Валерий Владимирович!
В честь Вашего замечательного юбилея
примите самые искренние поздравления и добрые пожелания!**

Более полувека Ваша профессиональная деятельность связана с НИИ «Респиратор». Талант ученого и мудрого редактора, потенциал, реализованный Вами, трудолюбие, стремление двигаться только вперед – *per aspera ad astra* – снискали Вам заслуженный авторитет и уважение руководства и коллектива института.

Ваша готовность к сотрудничеству и помощи особенно ценна для молодых ученых в наше нелегкое время. Свидетельство тому – Ваше членство в ученых советах и редакционных коллегиях научных изданий. Ваши достижения отмечены высокими ведомственными наградами и почётными грамотами.

Невозможно переоценить Вашу роль заместителя главного редактора Научного вестника НИИ «Респиратор» – издания, признанного научным сообществом России. Настойчивость и компетентность, эрудиция и интеллигентность, порядочность – это те личные качества, за которые мы Вас высоко ценим и любим.

**Дорогой Валерий Владимирович!
От всей души желаем Вам крепкого здоровья, стабильности,
оптимизма, душевного спокойствия и творческого вдохновения!**



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

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК НИИ «РЕСПИРАТОР»

№ 3 (63)

Выходит 4 раза в год

Основан в 1970 г.

Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – №3 (63). – 131 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.

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: 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 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).

Издание включено в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) (договор № 207-09/2026 от 10.09.2026).

Зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) (дата регистрации СМИ: 13.04.2026). Регистрационный номер СМИ: Серия ПИ № ФС77-91242.

Подписано к печати 15.09.2026 по рекомендации Ученого совета ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» (протокол № 5 от 27.08.2026).

Дата выхода в свет 21.09.2026.

Распространяется бесплатно.



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

SCIENTIFIC BULLETIN OF THE NII «RESPIRATOR»

No. 3 (63)

Published quarterly

Founded in 1970

Scientific bulletin of the NII «Respirator». – 2026. – No. 3 (63). – 131 p.

The results of investigations in the field of population and territories protection in Emergencies, Technological safety, Fire prevention and Extinguishing in mines, development of mine-rescue equipment and people rescue in underground accidents are presented.

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

Founder: Federal State Institution «The Scientific Research Institute «Respirator» EMERCOM of Russia».

Publisher: Federal State Institution «The Scientific Research Institute «Respirator» EMERCOM of Russia».

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

This publication is included in the List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of Candidate of sciences, for the degree of Doctor of sciences, must be published, formed by the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of Russia (date of publication inclusion in the List: 12.02.2024).

The publication is included in the Russian Science Citation Index (RSCI) database (Contract No. 207-09/2026 dated 10.09.2026).

Registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor) (Media registration date: 13.04.2026). Media registration number: Series ПИ No. ФC77-91242.

Approved for printing 15.09.2026 according to the reference of the Academic council of FSI «NII «Respirator» EMERCOM of Russia» (Protocol No. 5 dated 27.08.2026).

Release date: 21.09.2026.

Distributed free of charge.

СОДЕРЖАНИЕ

I. Пожарная безопасность

**Кирьян А. П., Пештибай Г. И.,
Галухин Н. А., Подколзин Н. С.**
Компьютерное моделирование влияния
температуры окружающей среды
на изменение давления компрессионной
пены в рукавной линии

**Ковалев А. П., Якимишина В. В.,
Левшов А. В.**
Риск потери живучести помещений,
в которых эксплуатируются сети
0,38/0,22 кВ

**Молодоженцев П. В., Ищенко А. Д.,
Соковнин А. И.**
Сдерживание пожаров в помещениях
объектов энергетики

Козлова Ю. С.
Алгоритм системы поддержки принятия
решений на основе критериев оценки
вероятности возникновения замыканий
в электропроводке

**Агарков Ал. В., Политучий Д. А.,
Буряк Д. С., Евтеев Д. С.**
Определение гидравлических параметров
объединенной сети шахтного водоотлива и
противопожарного водоснабжения

II. Безопасность труда

**Агеев В. Г., Лебедева В. В.,
Храпоненко О. В., Щербакова О. Н.**
Кинетика набора ранней прочности
армированного базальтовым волокном
быстротвердеющего материала

**Мамаев В. В., Плетенецкий Р. С.,
Зборщик Л. А., Плотников Д. А.**
Самоспасатель изолирующий
для условий Арктической зоны

TABLE OF CONTENTS

I. Fire safety

**Kiryan A. P., Peshibay G. I.,
Galukhin N. A., Podkolzin N. S.**
7 Computer modelling of the effect
of ambient temperature on pressure
variation in compressed air foam
flowing through a hose line

**Kovalev A. P., Yakimishina V. V.,
Levshov A. V.**
15 The risk of loss of survivability
of premises in which 0.38/0.22 kV
networks are operated

**Molodozhentsev P. V., Ishchenko A. D.,
Sokovnin A. I.**
24 Containment of fires in energy facilities

Kozlova Yu. S.
33 Algorithm of a decision support system
based on a criteria for assessing
the probability of occurrence of short
faults in electrical wiring

**Agarkov Al. V., Polituchiy D. A.,
Buryak D. S., Evteev D. S.**
39 Study of hydraulic parameters
of the combined mine drainage and
fire-fighting water supply network

II. Occupational safety

**Ageev V. G., Lebedeva V. V.,
Khraponenko O. V., Shcherbakova O. N.**
48 Kinetics of early strength development
of rapid-hardening material reinforced
with basalt fiber

**Mamaev V. V., Pletenetskiy R. S.,
Zborshchik L. A., Plotnikov D. A.**
54 Self-rescuer isolating for conditions
the Arctic zone

**Панайотов К. К., Конец Ю. В.,
Малкин В. Ю.**

Вероятностно-статистические модели влияния диагностических параметров технического состояния автомобиля на уровень профессионального риска

**Агарков Ал. В., Тишин Р. А.,
Мавроди А. В.**

Оценка тепловой нагрузки на организм горноспасателя в условиях нагревающего микроклимата

Абдуллин Н. А., Мукимов М. Р.

Причины аварийности и разработка мер безопасности персонала при проведении работ по зарезке боковых стволов

**Panayotov K. K., Kopets Yu. V.,
Malkin V. Yu.**

63 Probability-statistical models of the influence of diagnostic parameters of the technical condition of a vehicle on the level of professional risk

**Agarkov Al. V., Tishin R. A.,
Mavrodi A. V.**

72 Assessment of the thermal load on the body of a mountain rescuer in a warming microclimate

Abdullin N. A., Mukimov M. R.

80 Accident causes and development of safety measures for personnel during sidetracking operations

III. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

**Стариков Г. П., Шажко Я. В.,
Касьяненко А. Л.**

Прогноз давления метана в структуре угольного пласта

**Баканов М. О., Гринченко Б. Б.,
Мареев М. А.**

Обоснование параметров интервального охлаждения резервуаров на основе стохастической модели динамики техники в пространственно-распределенной среде

**Левина Е. Ю., Любимцев М. В.,
Копытов Д. О.**

Разработка интегрального показателя комплексной безопасности университета

**Краснов А. В., Султанов Р. М.,
Олин Н. А., Идельбаева Д. И.**

Применение конструктивных способов огнезащиты для полимерных эластичных резервуаров

**Веселов А. В., Баринов М. Ф.,
Мясников Д. В.**

Разработка модели тренажёра для отработки практических навыков водолазов

**Публикационная этика
Правила оформления авторских
рукописей**

III. Safety in emergency situations

**Starikov G. P., Shazhko Ya. V.,
Kasyanenko A. L.**

88 Estimation of methane pressure in the coal seam structure

**Bakanov M. O., Grinchenko B. B.,
Mareev M. A.**

95 Justification of interval cooling parameters for tanks based on a stochastic model of equipment dynamics in a spatially distributed environment

**Levina E. Yu., Lyubimtsev M. V.,
Kopytov D. O.**

105 Development of an integral indicator of the university's comprehensive security

**Krasnov A. V., Sultanov R. M.,
Olin N. A., Idelbaeva D. I.**

114 Application of structural fire protection methods for elastic polymer tanks

**Veselov A. V., Barinov M. F.,
Myasnikov D. V.**

121 Development of a model of a simulator for practical skills training of divers

128

I. Пожарная безопасность

УДК [614.844.5:532.55]:001.891.572

Андрей Петрович Кирьян, канд. техн. наук, начальник; e-mail: a.kiryan@res.80.mchs.gov.ru
Георгий Иванович Пефтибай, канд. техн. наук, нач. отд.; e-mail: g.peftibay@res.80.mchs.gov.ru
Николай Александрович Галухин, ст. науч. сотр.; e-mail: n.galuhin@res.80.mchs.gov.ru
Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»
283048, г. Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 252-78-36
Николай Сергеевич Подколзин, магистрант; e-mail: podkolzinnya@yandex.ru
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Донецкий национальный технический университет»
283001, г. Донецк, ул. Артема, 58. Тел.: +7 (949) 346-50-12

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ПЕНЫ В РУКАВНОЙ ЛИНИИ

Цель. Определение максимальной дальности подачи компрессионной пены по рукавной линии в условиях положительных и отрицательных температур окружающей среды.

Методы. Компьютерное моделирование процессов движения компрессионной пены при положительных и отрицательных температурах окружающей среды.

Результаты. Установлено, что при длине рукавной линии до 500 м и влиянием повышенной температуры на изменение давления можно пренебречь. При длине рукавной линии более 500 м учет температуры повышает точность определения давления в рукавной линии. При отрицательных температурах на длине рукавной линии до 200–250 м влиянием температуры можно пренебречь. При большей длине рукавной линии возможно кольцевое обледенение внутренней поверхности рукава, зауживание проходного сечения, что делает невозможным определение максимальной длины рукавной линии существующими методами.

Научная новизна. Определены закономерности изменения давления в рукавной линии с текущей компрессионной пеной при положительных и отрицательных температурах окружающей среды. Получено численное значение максимальной длины рукавной линии в условиях воздействия положительных температур окружающей среды.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть применены для определения максимальной длины рукавной линии в условиях положительных и отрицательных температур.

Ключевые слова: компрессионная пена; рукавная линия; моделирование; учет температуры; наибольшая длина.

Для цитирования: Кирьян А. П., Пефтибай Г. И., Галухин Н. А., Подколзин Н. С. Компьютерное моделирование влияния температуры окружающей среды на изменение давления компрессионной пены в рукавной линии // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 3 (63). – С. 7–14. – EDN DLNPBC

Постановка задачи. Компрессионную пену получают путем подачи сжатого газа в текущую жидкую фазу - водный раствор пеноконцентрата [1–7]. Пенообразование осуществляется за счет динамического воздействия турбулентных пульсаций на жидкую фазу. В результате генерируется пена, обладающая существенными отличиями от традиционной воздушно-механической пены.

Течению компрессионной пены в трубопроводах посвящен ряд работ [1–7], в которых изучались некоторые параметры, характеризующие ее свойства, существенно отличающиеся от таковых для классической пены: потери давления

на трение, дальность подачи, высота подачи, форма движения газовой смеси и другие. Значительно меньше внимания уделено исследованию влияния экстремально высокой или низкой температуры на потери давления и дальность подачи пены. В связи с этим, исследование влияния температуры окружающей среды на дальность подачи компрессионной пены на большие расстояния является актуальной задачей, позволяющей обосновать максимальную длину трубопровода, при которой пожарный ствол обеспечивает нормативные расход и дальность подачи компрессионной пены в очаг пожара.

Цель работы. Определение максимальной дальности подачи компрессионной пены по рукавной линии в условиях положительных и отрицательных температур окружающей среды.

Анализ последних исследований. Исследованию влияния температуры окружающей среды на параметры течения компрессионной пены посвящено ограниченное количество работ. В работе [8] определение интенсивности охлаждения пенного потока проводили при температуре окружающей среды от -30°C до -10°C . Получены зависимости температуры пены от времени течения по трубопроводу на длину 90 м, относительная погрешность расчетных и экспериментальных результатов не превышает 15 %. Исследование возможностей применения компрессионной пены при тушении пожаров в условиях низких температур приведено в работе [9]. Экспериментальные исследования проведены в условиях низких температур на горизонтальной рукавной линии диаметром 38 мм, которую заполнили компрессионной пеной и перекрыли вход и выход на два часа при температуре -20°C . Результаты экспериментов показали, что пена промерзла по внутреннему контуру рукава на глубину 7–10 мм. Промерзший хрупкий слой пены представлял собой теплоизоляцию, не позволившую полностью перекрыть сечение рукавной линии. Восстановление работоспособности авторы рекомендуют проводить разрушением промерзшего кольцевого слоя пены путем протапывания. Таким образом, экспериментально доказана возможность тушения пожаров компрессионной пеной в условиях низких температур без повреждения рукавной линии.

В исследовании [10] показано, что в условиях холодного времени года наблюдается значительное увеличение случаев пожара в энергетической отрасли Российской Федерации, что обуславливает актуальность исследования параметров компрессионной пены в зимний период времени. Предложена математическая модель охлаждения компрессионной пены при движении в насосно-рукавной линии в условиях низкой температуры окружающей среды. Проведенная верификация математической модели путем сравнения с экспериментальными данными показала, что ошибка не превышает 17 %. В работах [11, 12] получено дифференциальное уравнение распределения температуры вдоль рукавной линии при низкой температуре окружающей среды с учетом линейного коэффициента теплоотдачи для цилиндрических труб, что снижает ошибку на 4–5 %. С учетом влияния температуры на газонасыщение пенного потока получена система уравнений для определения потерь давления по длине рукавной линии.

Результаты исследований. Для определения дальности подачи компрессионной пены по пожарным рукавным линиям в условиях повышенных или пониженных температур окружающей среды воспользуемся методом компьютерного моделирования процессов движения пены и определения потери давления [12].

Система уравнений математической модели имеет вид:

$$\begin{cases} -\frac{dP}{dt} = \frac{8\rho_B Q_B^2}{\pi^2 d^5} (18 \cdot 10^{-6} l^{12} (P, T) + 0,032) \\ \varphi(P, T) = \frac{P_a T Q_a}{P_a T Q_a + P T_a Q_B} \\ T = T_a + (T_n - T_a) \exp\left(-\frac{\pi K_l}{C_p G_n} x\right) \end{cases},$$

где P – абсолютное давление в рукавной линии, Па;

ρ_B – плотность жидкой фазы, кг/м³;

Q_B – объемный расход жидкой фазы, м³/с;

d – внутренний диаметр рукава, м;

φ – газонасыщение;

P_a – атмосферное давление, Па;

T_a, T – температуры газа при атмосферном давлении P_a и давлении P , К;

Q_a – объемный расход газа при атмосферном давлении P_a ;

T_n – температура компрессионной пены в начале рукавной линии, К;

K_l – линейный коэффициент теплоотдачи рукавной линии, Вт/(м · К);

C_p – теплоемкость компрессионной пены, Дж/(кг · с);

G_n – массовый расход компрессионной пены, кг/с.

Компьютерное моделирование проводилось при следующих значениях параметров, входящих в систему уравнений: $\rho_B = 998$ кг/м³, $Q_B = 2 \cdot 10^{-3}$ м³/с, $d = 51 \cdot 10^{-3}$ м, $P_a = 101325$ Па, $T_n = 293$ К, $T_a = 313$ К, $G_n = 2,0233$ кг/с, $C_p = 2310$ Дж/(кг · К), $\rho = 101$ кг/м³. Координата длины рукавной линии изменялась в диапазоне $0 \leq x \leq 1300$ м. Начальное значение давления $P(0) = 10^6$ Па.

Из сравнительного анализа графиков изменения температуры и потери давления движущейся в рукавной линии компрессионной пены при температуре окружающей среды 313 К (рис. 1, рис. 2) следует:

- при длине рукавной линии до 500 м можно пренебречь влиянием повышенной температуры окружающей среды на потери давления при движении компрессионной пены;

- на длине рукавной линии более 500 м игнорирование влияния температуры на потери давления приводит к снижению значений удельных потерь давления;

- заниженные удельные потери давления приводят к некорректному определению максимальной длины подачи компрессионной пены.

Если принять во внимание, что ручной пожарный ствол обеспечивает номинальные параметры по дальности подачи и по расходу пены при давлении перед стволом не менее 0,5 МПа¹ (горизонтальная линия на рис. 2), то максимальная длина рукавной линии должна быть менее 974,6 м, согласно кривой 1, максимальная длина рукавной линии (согласно кривой 2, (без учета влияния температуры)) должна составлять 1037,3 м. То есть, игнорирование влияния положительной температуры окружающей среды на потери давления движущейся компрессионной пены завышает максимальную длину рукавной линии на 62,7 м, что может привести к снижению давления перед пожарным стволом ниже нормативной величины, ухудшению параметров подачи компрессионной пены в очаг пожара и, как следствие, – к снижению эффективности тушения пожара.

¹ ГОСТ 9923-2021. Техника пожарная. Стволы пожарные ручные. Общие технические требования. Методы испытаний

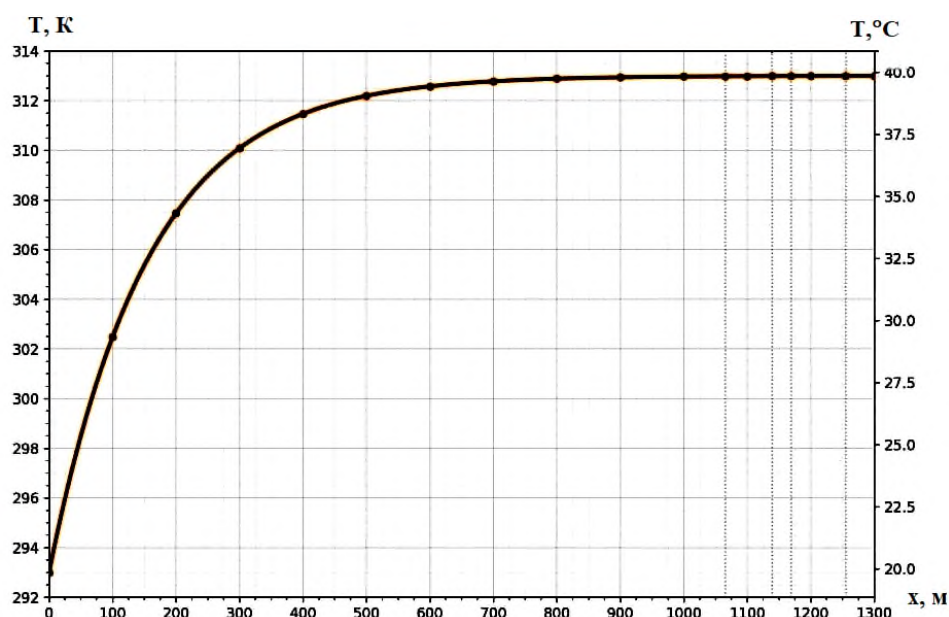


Рис. 1. График изменения температуры движущейся в рукавной линии компрессионной пены при температуре окружающей среды 313 К

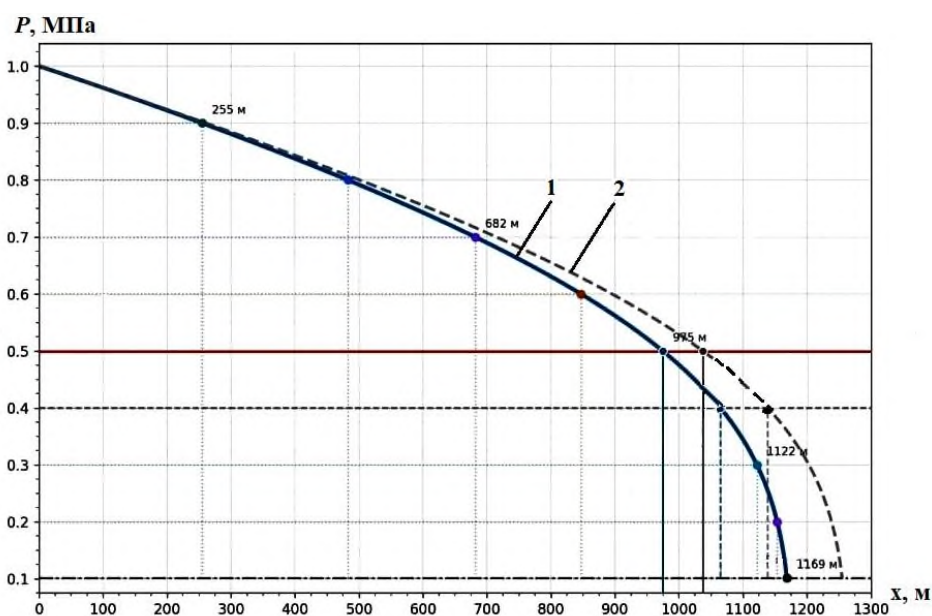


Рис. 2. График потерь давления при движении компрессионной пены в рукавной линии: 1 – с учетом влияния температуры; 2 – без учета влияния температуры

Результаты численного моделирования процесса охлаждения движущейся в рукавной линии компрессионной пены показаны на рис. 3, где температура пены снижается с начальной 293 К до температуры окружающей среды 258 К.

Следует заметить, что используемая экспоненциальная зависимость температуры охлаждения движущейся пены получена из условия осредненной температуры по всему сечению рукавной линии. В реальности при отрицательных температурах на внутренней пристенной поверхности рукава образуется кольцевой слой замерзшей пены толщиной 8–10 мм [9]. Этот намерзший пористый слой пены действует как теплоизоляция и предотвращает прекращение подачи пены при отрицательных температурах. Поэтому соответствующей действительности является часть кривой, лежащей выше горизонтальной прямой $T = 273$ К.

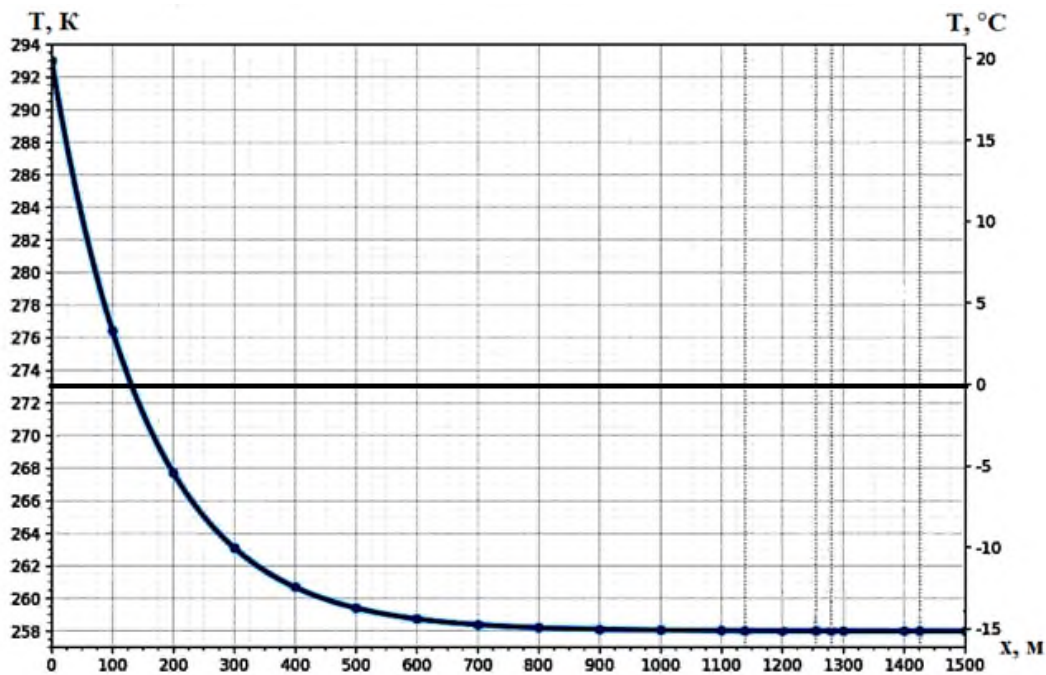


Рис. 3. График изменения температуры движущейся в рукавной линии компрессионной пены при температуре окружающей среды 258 К

Для более точного описания процесса охлаждения пены необходим учет дополнительно появившегося слоя утепления в виде пристенно расположенного кольцевого слоя замерзшей пены, в результате чего происходит сужение проходного сечения, изменение шероховатости и гидравлического сопротивления промерзшей части рукавной линии. В связи с этим график потерь давления при движении компрессионной пены в рукавной линии (рис. 4) действителен только на длине до 150 м.

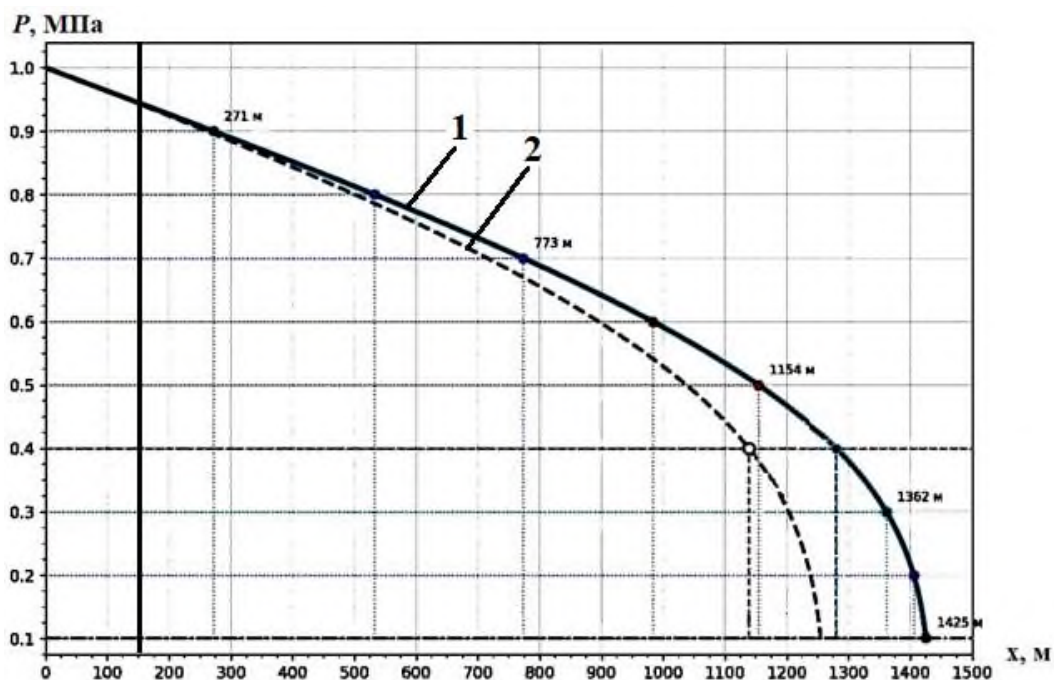


Рис. 4. График потерь давления при движении компрессионной пены в рукавной линии: 1 – с учетом влияния температуры (258 К); 2 – без учета влияния температуры

Система уравнений, применяемая для моделирования потерь давления, становится адекватной реальному объекту. Ввиду этого определение дальности подачи компрессионной пены по рукавной линии в условиях отрицательных температур для данного случая становится невозможным. В настоящее время в литературных источниках отсутствует информация об исследованиях потерь давления компрессионной пены в рукавных линиях при отрицательных температурах.

Выводы. Определены зависимости потерь давления при движении компрессионной пены в рукавной линии с учетом влияния положительной и отрицательной температур окружающей среды; изменения температуры движущейся компрессионной пены вдоль рукавной линии.

Проведенное численное моделирование по определению дальности подачи компрессионной пены в условиях экстремальных температур показало:

- при положительной температуре влияние повышенной температуры на длину до 500 м незначительное, поэтому расчеты потерь давления можно выполнять по простым формулам без учета температуры;
- при длине рукавной линии более 500 м необходимо учитывать повышение газонасыщения и его влияние на уменьшение дальности подачи компрессионной пены; максимальная дальность подачи из условия обеспечения рабочего давления ручного пожарного ствола составляет 974 м;
- при отрицательной температуре и длине рукавной линии до 200–250 м определение потерь давления может быть выполнено известными способами без учета влияния температуры;
- при длине рукавной линии более 250 м внутренняя поверхность рукава может покрываться кольцевым слоем замерзшей пены, а замерзшая пена образует новые стенки рукавов и суживает их сечение; методы определения потерь давления компрессионной пены в условиях возникновения замерзшего кольцевого слоя пены отсутствуют и до сих пор не рассматривались;
- усовершенствовать методы расчета и распространить их на течения компрессионной пены в рукавных линиях при отрицательной температуре возможно при использовании расчетов тепловых полей по сечению рукавов, что позволит определить начало промерзания и толщины замерзшей пены, кроме того, потребуется экспериментальное определение влияния замерзшей пены на гидравлическое сопротивление потоку компрессионной пены.

Список литературы / References

1. Белорожев, О. Н. Эффективность применения компрессионных пен при тушении пожаров / О. Н. Белорожев, И. В. Багажков // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2016. – Т. 1, № 1 (7). – С. 305–307.

Belorozhev, O. N. [Efficiency of using compression foams in extinguishing fires]. Fire safety: problems and prospects, 2016, vol. 1, no. 1 (7), pp. 305-307. (In Russian)

2. Потеряев, Ю. К. Сравнение эффективности компрессионной пены и пены низкой кратности AFFF / Ю. К. Потеряев, А. В. Миронычев, А. М. Ощенко // Пожары и чрезвычайные ситуации : предупреждение, ликвидация. – 2023. – № 3. – С. 32–38.

Poteryaev, Yu. K., Mironychev, A. V., Oshchenkov, A. M. [Comparing efficiency of compressed air foam and AFFF low expansion foam]. Fire and emergencies: prevention, elimination, 2023, no. 3, pp. 32-38. (In Russian)

3. Камлюк, А. Н. Особенности применения пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения пожаров / А. Н. Камлюк, А. В. Грачулин // Вестник университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 168–175.

Kamlyuk, A. N., Grachulin, A. V. [Particularities of extinguishing by compressed air foam systems]. Journal of Civil Protection, 2018, no. 2 (2), pp. 168-175. (In Russian)

4. Скорупич, И. С. Экспериментальные исследования подачи струи компрессионной пены / И. С. Скорупич, А. В. Грачулин, К. Е. Шинкаренко // Вестник университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2022. – Т. 6, № 2. – С. 201–210.

Skorupich, I. S., Grachulin, A. V., Shinkorenko, K. E. [Experimental investigation of compression foam jet supply]. Journal of Civil Protection, 2022, no. 2 (6), pp. 201-210. (In Russian)

5. Сизонова, Н. А. Средства получения и перспективы применения компрессионной пены в пожаротушении / Н. А. Сизонова // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2024. – № 3 (34). – С. 211–219.

Sizinova, N. A. [Means of obtaining and prospects for using compression foam in fire extinguishing]. Siberian Fire and Rescue Bulletin, 2024, no. 3 (34), pp. 211-219. (In Russian)

6. Грачулин, А. В. Экспериментальные исследования движения компрессионной пены в горизонтальном цилиндрическом канале / А. В. Грачулин // Вестник командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 1 (23). – С. 68–77.

Grachulin, A. V. [Experimental research of the motions of compressed air foam in horizontal cylindrical channel]. Vestnik of the Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus, 2016, no. 1 (23), pp. 68-77. (In Russian)

7. Kim, A., Crampton, G. A new Compressed-Air-Foam Technology. Halon Options Technical Working Conference. 2-4 May, 2000, pp. 343-348. (In English)

8. Исследование параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам в условиях низких температур / М. В. Алешков, Т. Г. Меркушкина, В. Д. Федяев, А. С. Гумиров // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – № 2 (92). – С. 8–19.

Aleshkov, M. V., Merkuschkina, T. G., Fedyaev, V. D., Gumirov, A. S. [Investigation of the parameters of the cooling strength of compression foam when feeding through pumping and hose systems at low temperatures]. Technology of technosphere safety, 2021, vol. 2 (92), pp. 8-19 (In Russian)

9. Камлюк, А. Н. Тушение пожаров пеногенерирующими системами со сжатым воздухом / А. Н. Камлюк, О. Д. Навроцкий, А. В. Грачулин // Вестник университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2017. – Т. 1, № 1. – С. 44–53.

Kamlyuk, A. N., Navrotsky, O. D., Grachulin, A. V. [Fire extinguishing by compressed air foam systems]. Journal of Civil Protection, 2017, no. 1 (1), pp. 44-53. (In Russian)

10. Гумиров, А. С. Подача компрессионной пены по насосно-рукавным системам при тушении пожаров на объектах энергетики в условиях низких температур : специальность 2.10.1 «Пожарная безопасность (технические науки)»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Андрей Сергеевич Гумиров. – М., 2025. – 24 с. Место защиты: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России.

Gumirov, A. S. *Podacha kompressionnoy peny po nasosno-rukavnyim sistemam pri tushenii pozharov na ob'yektakh energetiki v usloviyakh nizkikh temperatur* [Supply of compression foam through pump-hose systems during fire extinguishing at energy facilities in low-temperature conditions : 2.10.1 «Fire safety (technical sciences)» specialty : abstract of candidate of technical sciences dissertation / Andrey Sergeevich Gumirov]. Moscow, 2025, 24 p. Place of thesis defence: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. (In Russian)

11. Кирьян, А. П. Влияние низкой температуры на параметры потока компрессионной пены в рукавной линии / А. П. Кирьян, Г. И. Пефтибай, Н. А. Галухин // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 1 (63). – С. 7–18.

Kiryan, A. P., Peftibay, G. I., Galukhin, N. A. [The influence of low temperature on the flow parameters of compression foam moving in a hose line]. *Scientific Bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 1 (63), pp. 7-18. (In Russian)

12. Кирьян, А. П. Потери давления при движении компрессионной пены в рукавной линии с учетом температуры окружающей среды / А. П. Кирьян, Г. И. Пештибай, Н. А. Галухин // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 2 (63). – С. 7–14.

Kiryan, A. P., Peftibay, G. I., Galukhin, N. A. [Pressure loss during the movement of compression foam in a hose line, taking into account the ambient temperature]. *Scientific Bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 2 (63), pp. 7-14. (In Russian)

Дата поступления рукописи 04.06.2026

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамеевым

Andrey Petrovich Kiryan, Cand. of Tech. Sci., Head of the Institute; e-mail: a.kiryan@res.80.mchs.gov.ru

Georgy Ivanovich Peftibay, Cand. of Tech. Sci., Head of Dep.; e-mail: g.peftibay@res.80.mchs.gov.ru

Nikolay Aleksandrovich Galukhin, Senior Researcher; e-mail: n.galukhin@res.80.mchs.gov.ru

Federal State Institution «The Scientific Research Institute «Respirator» EMERCOM of Russia»

283048, Donetsk, Artyoma St., 157. Phone: +7 (856) 252-78-36

Nikolay Sergeyevich Podkolzin, Master's student; e-mail: podkolzinnya@yandex.ru

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Donetsk National Technical University»

283001, Donetsk, Artyoma St., 58. Phone: +7 (949) 346-50-12

COMPUTER MODELLING OF THE EFFECT OF AMBIENT TEMPERATURE ON PRESSURE VARIATION IN COMPRESSED AIR FOAM FLOWING THROUGH A HOSE LINE

Objective. To determine the maximum delivery distance of compressed air foam through a hose line under above-zero and subzero ambient temperature conditions.

Methods. Computer modelling of compressed air foam flow processes at above-zero and subzero ambient temperatures.

Results. It was established that, for hose lines up to 500 m in length, the effect of elevated ambient temperature on pressure variation may be neglected. For hose lines exceeding 500 m, accounting for ambient temperature improves the accuracy of pressure determination within the hose line. At subzero temperatures, the temperature effect may be neglected for hose line lengths of up to 200–250 m. In longer hose lines, circumferential ice accretion may occur on the inner surface of the hose, reducing the effective flow area and precluding reliable determination of the maximum hose line length using existing methods.

Scientific novelty. The patterns of pressure variation in a hose line carrying compressed air foam at above-zero and subzero ambient temperatures were determined. A numerical value of the maximum hose line length under above-zero ambient temperature conditions was obtained.

Practical significance. The research results can be used to determine the maximum hose line length under above-zero and subzero ambient temperature conditions.

Keywords: compressed air foam; hose line; computer modelling; temperature effect; maximum length.

For citation: Kiryan A. P., Peftibay G. I., Galukhin N. A., Podkolzin N. S. Computer modelling of the effect of ambient temperature on pressure variation in compressed air foam flowing through a hose line. *Scientific Bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 7-14. EDN DLNPBC

УДК 614.841.3:621.316.11

*Александр Петрович Ковалев, д-р техн. наук, профессор, науч. сотр.; e-mail: abrecap@mail.ru
Федеральное государственное казенное учреждение*

*«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»
283048, г. Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 252-78-43*

*Виктория Викторовна Якимишина, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры;
e-mail: yvsm@list.ru*

*Александр Васильевич Левшов, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры;
e-mail: levshovaleksandr17@mail.ru*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Донецкий национальный технический университет»
283001, г. Донецк, ул. Артема, 58. Тел.: +7 (856) 301-03-06*

РИСК ПОТЕРИ ЖИВУЧЕСТИ ПОМЕЩЕНИЙ, В КОТОРЫХ ЭКСПЛУАТИРУЮТСЯ СЕТИ 0,38/0,22 КВ

Цель. Оценка риска потери живучести помещений, в которых эксплуатируются сети 0,38/0,22 кВ с глухозаземленной нейтралью.

Методы. Анализ динамики состояния электрической сети 0,38/0,22 кВ и её автоматических средств защиты проводился аналитически с использованием регулярных однородных марковских процессов с дискретным числом состояний и непрерывным временем.

Результаты. Произведена оценка риска, связанного с потерей живучести квартир в двухэтажном восьмиквартирном доме при его эксплуатации, в которых используется электрическая сеть 0,22 кВ. Установлено, что риск потери живучести квартиры из-за коротких замыканий в течение года составил $Q_0(8760) = 7,54 \cdot 10^{-4}$. Среднее время до потери живучести квартиры $\tau_0 = 51,37$ года.

Научная новизна. Впервые получены расчетные формулы для определения риска потери живучести помещений, в которых эксплуатируются сети 0,38/0,22 кВ с глухозаземленной нейтралью, для повышения их пожарной безопасности.

Практическая значимость. Предложена инженерная методика оценки живучести помещений, в которых эксплуатируется электрическая сеть 0,38/0,22 кВ с глухозаземленной нейтралью.

Ключевые слова: *риск; живучесть; защита; помещение; электрическая проводка; токи короткого замыкания; автоматический выключатель; марковский процесс.*

Для цитирования: Ковалев А. П., Якимишина В. В., Левшов А. В. Риск потери живучести помещений, в которых эксплуатируются сети 0,38/0,22 кВ // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 3 (63). – С. 15–23. – EDN DNLJON

Постановка проблемы. Ежегодно в России происходит до 50 тыс. пожаров от повреждений электрических изделий, что составляет 20–25 % от общего числа пожаров в стране [1]. Наиболее пожароопасным электротехническим изделием являются кабели и электропроводки 0,38/0,22 кВ.

Причины пожаров от повреждений электропроводок и кабелей 0,38/0,22 кВ распределяются следующим образом [2]:

- 44,86 % – короткие замыкания (КЗ) в электропроводках и кабельной продукции;
- 20,8 % – перегрев электроприборов;
- 5,5 % – большие переходные сопротивления контактных соединений в силовой сети;
- 2,7 % – перегрузка электроустановок;
- 2,2 % – несоблюдение безопасного расстояния от электроустановок до горючих материалов.

Почти все перечисленные причины пожаров можно предотвратить в том случае, если автоматические средства защиты будут чувствительны к данному виду повреждений, а защита надежно сработает и отключит поврежденный узел нагрузки раньше, чем этот вид повреждений станет источником пожара.

Под электрифицированным помещением понимаем помещение, в котором эксплуатируется электрическая сеть 0,38/0,22 кВ. Под узлом нагрузки – электрическую сеть 0,38/0,22 кВ, в состав которой входят следующие элементы: электрическая проводка, кабельная продукция, электрическая арматура (розетки, вилки, удлинители, выключатели, распределительные коробки и т. д.) и потребители электрической энергии, которые защищаются от токов КЗ токовой отсечкой автоматического выключателя (АВ).

К повреждениям элементов узлов нагрузки, которые находятся под напряжением, относят события, происходящие в элементах электрической сети, которые могут привести к появлению: коротких замыканий, перегрузкам, утечкам токов на заземляющий контур, либо к появлению ослабленных и опасно нагретых силовых контактных соединений.

Если происходит КЗ в элементе узла нагрузки, а токовая отсечка защитного коммутационного аппарата, через который прошел сквозной аварийный ток, отказывает в срабатывании, то этот поврежденный узел нагрузки будет отключен с выдержкой времени другим автоматическим выключателем, который обеспечивает продольное резервирование (либо происходит отгорание проводников в месте появления КЗ). Такие повреждения относим к затянувшемуся по времени КЗ [3]. За время существования затянувшегося КЗ между проводниками различных фаз образуется жидкая перемычка из расплавленного металла проводников, и под воздействием динамических процессов в сети происходит электрический взрыв – выброс нагретых металлических частиц из зоны дугового разряда, способных поджечь пожароопасную среду, находящуюся в радиусе до шести метров. К ним следует отнести и изоляцию силовых проводников, которая при затянувшемся по времени КЗ (либо из-за перегрузки) может воспламениться или размягчиться, начиная течь. При попадании капель горячей массы на поверхность горючего материала происходит возгорание.

Из вышеизложенного следует, что решены еще не все вопросы, связанные с надежностью и чувствительностью автоматических средств защиты, которые обеспечивают пожарную безопасность электрифицированных помещений.

Анализ последних исследований и публикаций. Под живучестью понимаем способность системы сохранять свойства, необходимые для выполнения заданной функции при форсмажорных поражающих воздействиях, не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации (при взрывах, пожарах, затоплениях и пр.) [4].

В энергетике «живучесть объекта» – это свойство противостоять возмущениям, не допуская их каскадного развития с массовым нарушением питания потребителей [5].

Из анализа нормативных документов и методик расчетов [6] в области пожарной безопасности можно сделать вывод о том, что ни одна из существующих методик расчета пожарного риска не позволяет оценить риск, связанный с возникновением пожаров в помещениях, где эксплуатируются сети 0,38/0,22 кВ с глухозаземленной нейтралью.

Цель исследования. Оценка риска потери живучести помещений, в которых эксплуатируются сети 0,38/0,22 кВ с глухозаземленной нейтралью.

Результаты исследования. Под ситуацией будем понимать совпадение в пространстве и времени минимального числа случайных независимых событий, которые появляются с различными частотами и длительности их существования. Определенные ситуации на объектах могут привести к появлению на них аварий или катастроф. Пожароопасная ситуация – это невыявленная закономерность, нахождение которой позволит прогнозировать возникновение пожаров в электрифицированных помещениях.

Под живучестью электрифицированного помещения будем понимать: техническую возможность автоматической системы защиты реагировать на повреждения элементов узла нагрузки и не допускать ситуаций, в результате появления которых, произойдет пожар в помещении, где эксплуатируются сети 0,38/0,22 кВ с глухозаземленной нейтралью. Из этого следует, что риск, связанный с потерей живучести, может быть измерен вероятностью того, что в течение времени при определенных условиях эксплуатации произойдет ситуация, в результате которой возможен пожар в помещении, где эксплуатируется сеть 0,38/0,22 кВ с глухозаземленной нейтралью.

Рассмотрим одну из возможных пожароопасных ситуаций, в результате появления которой возможен пожар в электрифицированном помещении, определим закономерности для оценки живучести помещений.

Постановка задачи. Пожар в помещении, где эксплуатируются сети 0,38/0,22 кВ с глухозаземленной нейтралью, может произойти при совпадении в пространстве и времени двух случайных независимых событий: произошло КЗ в элементе узла нагрузки в зоне действия токовой отсечки автоматического выключателя, через который прошел сквозной аварийный ток, и произошел отказ в срабатывании этого автоматического выключателя.

Предполагается, что диагностика работоспособности системы защиты автоматического выключателя в процессе эксплуатации не проводится; горючий материал находится в электрифицированном помещении не дальше шести метров от предполагаемого места появления КЗ.

Требуется оценить риск, связанный с потерей живучести электрифицированного помещения, т. е. вероятность $Q_0(t)$ того, что при заданных условиях эксплуатации системы «узел нагрузки – защита» потеряет живучесть из-за случайного появления токов КЗ (произойдет пожар в электрифицированном помещении). Индекс «0» означает, что за системой «узел нагрузки – защита» наблюдаем с момента времени, когда в сети нет КЗ и защита находится в ждущем режиме.

Решение поставленной задачи. Под системой «узел нагрузки – защита» понимаем процесс, связанный с изменением в пространстве и времени состояния сети и ее автоматических средств защиты.

Представим изменение состояния электрической сети (узел нагрузки) с течением времени в виде регулярного однородного марковского процесса $\alpha(t)$ с двумя дискретными состояниями и непрерывным временем. Обозначим через «0» такое состояние сети, в котором не наблюдается повреждения, приводящего в появлению КЗ, а через «1» – длительность существования дугового КЗ (время срабатывания токовой отсечки автоматического выключателя и отключение поврежденного элемента от сети).

Параметры процесса $\alpha(t)$ обозначим через λ и μ , где λ характеризует интенсивность (скорость) переходов электрической сети из состояния «0»

в состояние «1», μ характеризует интенсивность (скорость) переходов из состояния «1» в состояние «0».

Изменение состояния защиты (защита рассматривается вместе с системой автоматического отключения выключателя) представим в виде регулярного однородного марковского процесса $\beta(t)$ с двумя дискретными состояниями и непрерывным временем. Обозначим через «0» работоспособное состояние защиты (ждущий режим), а через «1» состояние, когда защита находится в отказавшем (неработоспособном) состоянии. Параметры процесса $\beta(t)$ обозначим через λ_s и μ_s , где λ_s характеризует интенсивность переходов защиты из состояния «0» в состояние «1», а μ_s – интенсивность переходов из состояния «1» в состояние «0».

Возгорание горючего материала в электрифицированном помещении может произойти в момент совпадения в пространстве и времени двух регулярных марковских процессов $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ в состоянии 1, т. е. когда $\alpha(t) = 1$ и $\beta(t) = 1$.

Предположим, что в начальный момент времени $\alpha(t) = 0$, $\beta(t) = 0$ и параметры процессов $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ известны – λ , μ ; λ_s , μ_s . Совокупность процессов $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ рассмотрим, как один регулярный однородный марковский процесс с четырьмя дискретными состояниями и непрерывным временем.

Пусть система «узел нагрузки – защита» в любой момент времени t может находиться только в одном из четырех состояний:

$$E\{e_0(0,0); e_1(1,0); e_2(0,1); e_3(1,1)\},$$

где $e_0(0,0)$ – в защищаемых элементах узла нагрузки отсутствуют повреждения, которые могли бы привести к появлению КЗ; защита сети (узла нагрузки) находится в работоспособном состоянии (ждущий режим);

$e_1(1,0)$ – в защищаемом узле нагрузки в одном из его элементов произошло КЗ; защита сети (узла нагрузки) находится в работоспособном состоянии (ждущий режим);

$e_2(0,1)$ – в защищаемых элементах узла нагрузки отсутствуют повреждения, которые могли бы привести к появлению КЗ; защита сети (узла нагрузки) находится в отказавшем состоянии;

$e_3(1,1)$ – в защищаемом узле нагрузки в одном из его элементов произошло КЗ; защита сети (узла нагрузки) находится в отказавшем состоянии.

Состояние $e_3(1,1)$ – поглощающее, при котором система «узел нагрузки – защита» из него выйти не может. В состоянии $e_3(1,1)$ возможен пожар в помещении, где эксплуатируется сеть 0,38/0,22 кВ.

Описанный процесс формирования пожаров в помещениях, где эксплуатируются сети 0,38/0,22 кВ с глухозаземленной нейтралью, полностью характеризуется матрицей вероятностей переходов за время Δt :

$$P(\Delta t) = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \left\| \begin{array}{cccc} 1 - (\lambda + \lambda_s)\Delta t + 0(\Delta t) & \lambda\Delta t + 0(\Delta t) & \lambda_s\Delta t + 0(\Delta t) & 0(\Delta t) \\ \mu\Delta t + 0(\Delta t) & 1 - (\mu + \lambda_s)\Delta t + 0(\Delta t) & 0(\Delta t) & \lambda_s\Delta t + 0(\Delta t) \\ 0 & 0 & 1 - \lambda\Delta t + 0(\Delta t) & \lambda\Delta t + 0(\Delta t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right\| \end{matrix} \quad (1)$$

В матрице (1) $0(\Delta t)$ означает, что вероятность переходов более одного раза из одного состояния в другое за время Δt есть величина маловероятная. Нули

в матрице (1) означают, что переходы из этих состояний невозможны. Единица означает, что состояние $e_3(1,1)$ – поглощающее. В матрице (1) $\mu_s = 0$, т. к., по условию задачи, диагностика защиты не проводится.

Процесс формирования пожаров в помещении, где эксплуатируется электрическая проводка, можно представить в виде графа (рис.).

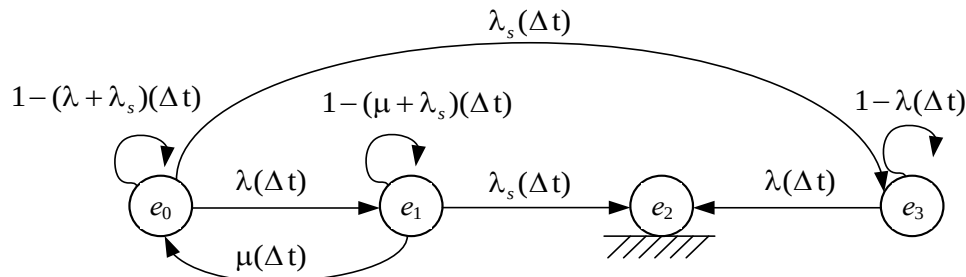


Рис. Граф вероятностей переходов системы «узел нагрузки – защита» за время Δt

Риск $Q_0(t)$, связанный с потерей живучести электрифицированного помещения при его эксплуатации в течение времени из-за случайного появления токов КЗ в элементе узла нагрузки, определим следующим образом:

$$Q_0(t) = 1 - [P_0(t) + P_1(t) + P_2(t)], \quad (2)$$

где $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$ – вероятность того, что система «узел нагрузки – защита» за время t будет находиться в одном из состояний $e_0(0,0)$, $e_1(1,0)$, $e_2(0,1)$, соответственно (рис.). Вероятности $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$ находят из решения системы линейных дифференциальных уравнений, которые имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \dot{P}_0(t) &= -(\lambda + \lambda_s)P_0(t) + \mu P_1(t) \\ \dot{P}_1(t) &= \lambda P_0(t) - (\mu + \lambda_s)P_1(t) \\ \dot{P}_2(t) &= \lambda_s P_0(t) - \lambda P_2(t) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Система (3) решается при начальных условиях $P_0(0) = 1$, $P_1(0) = 0$, $P_2(0) = 0$, которые означают, что система «узел нагрузки – защита» начинает функционировать из состояния $e_0(0,0)$ (рис.). При переходе от дифференциальных уравнений к алгебраическим, текущее время заменяем постоянным параметром s .

Подставляя найденные значения из системы (3) в формулу (2), получим:

$$Q(t) = 1 - \frac{(\lambda_s + \mu) [\lambda(\lambda + \mu - \lambda_s)e^{-\lambda_s t} - \lambda_s(\lambda_s + \mu - \lambda)e^{-\lambda t}] - \lambda\lambda_s(\lambda - \lambda_s)e^{-(\lambda + \lambda_s + \mu)t}}{(\lambda - \lambda_s)(\lambda + \mu)(\lambda_s + \mu)}. \quad (4)$$

Используя систему линейных дифференциальных уравнений (3), определим среднее время до потери живучести объекта:

$$\tau_0 = \frac{\lambda^2 + (\lambda + \lambda_s)(\lambda_s + \mu)}{\lambda\lambda_s(\lambda + \lambda_s + \mu)}. \quad (5)$$

Дисперсию σ_0^2 времени, связанного с потерей живучести объекта, находим следующим образом:

$$\sigma_0^2 = \frac{(\lambda^2 - \lambda_s^2)^2 + (\lambda \lambda_s)^2 + (\lambda^2 + \lambda_s^2)(2\lambda + \mu)(\lambda_s + \mu)}{\lambda^2 \lambda_s^2 (\lambda + \lambda_s + \mu)^2}. \quad (6)$$

В том случае, если

$$\tau_0 \approx \sigma_0, \quad (7)$$

тогда

$$Q_0(t) \approx 1 - e^{-\frac{1}{\tau_1} t}. \quad (8)$$

Если соблюдаются условия

$$\lambda \ll \mu; \lambda_s \ll \mu, \quad (9)$$

используя формулы (4) и (6), получим:

$$Q_0(t) = 1 - \frac{1}{\lambda - \lambda_s} (\lambda e^{-\lambda_s t} - \lambda_s e^{-\lambda t}), \quad (10)$$

$$\tau_0 = \frac{\lambda + \lambda_s}{\lambda \lambda_s}, \quad (11)$$

$$\sigma_0^2 = \frac{\lambda^2 + \lambda_s^2}{(\lambda \lambda_s)^2}. \quad (12)$$

Если предположить, что защита сети от случайного появления токов КЗ в элементе узла нагрузки будет работать абсолютно надежно, т. е. $\lambda_s = 0$, тогда и пожаров в помещении, где эксплуатируется электрическая сеть 0,38/0,22 кВ, не будет – это следует из формул (4), (8), (10). В этом случае $Q_0(t) = 0$. Это значит, что электрифицированное помещение будет обладать «абсолютной живучестью».

Параметры регулярного однородного марковского процесса λ , μ , λ_s определяют следующим образом:

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot T}, \quad (13)$$

где n – число зафиксированных коротких замыканий, произошедших в элементах узла нагрузки;

N – число узлов нагрузки, за которыми было установлено наблюдение;

T – время, в течение которого проводилось наблюдение за элементами узла нагрузки и автоматическими средствами защиты;

$$\mu = \frac{1}{d} \quad (14)$$

где d – средняя длительность существования дугового разряда в месте появления КЗ, т. е. среднее время срабатывания защиты и отключение узла нагрузки от сети;

$$\lambda_s = \frac{m}{N_s \cdot T}, \quad (15)$$

где m – число повреждений в системе защиты автоматического выключателя, которые могли бы привести к его отказам в срабатывании при появлении КЗ в зоне действия токовой отсечки;

N_s – число автоматических выключателей, с помощью которых защищаются элементы узлов нагрузки от токов КЗ (токовая отсечка).

Формулы (4) – (6), (8) – (15) полностью характеризуют пожарную безопасность помещений, в которых эксплуатируются сети 0,38/0,22 кВ с глухозаземленной нейтралью.

В дальнейших исследованиях в области оценки пожарной безопасности объектов следует рассмотреть вопрос о влиянии диагностических проверок автоматической системы отключения АВ на риски, связанные с потерей живучести помещений, в которых эксплуатируются сети 0,38/0,22 кВ с глухозаземленной нейтралью.

Пример. Под наблюдением в течение времени $T = 33$ года (1992–2025 гг.) находилась система электроснабжения 0,22 кВ восьмиквартирного ($N = 8$) двухэтажного дома.

Система электроснабжения квартиры представляет собой один узел нагрузки, в который входит: электрическая проводка, электрическая арматура, потребители электроэнергии – бытовые электроприборы.

В качестве защиты сети от токов КЗ используется токовая отсечка вводного автоматического выключателя.

За время наблюдения $T = 33$ года за состоянием восьми узлов нагрузки ($N = 8$) в элементах сети произошло 12 КЗ ($n = 12$), которые были отключены токовыми отсечками соответствующих вводных автоматических выключателей.

Среднее время отключения токов КЗ автоматического выключателя составляет 0,2 с ($5,56 \cdot 10^{-5}$ ч).

За это же время в системах автоматического отключения выключателей ($N_s = 8$) было выявлено девять повреждений ($m = 9$), которые могли бы привести к отказам в срабатывании системы защиты при появлении токов КЗ в защищаемом элементе узла нагрузки.

Необходимо определить τ_0 – среднее время до потери живучести квартиры в восьмиквартирном доме в течение года из-за случайного появления токов КЗ в сети 0,22 кВ или потребителях электрической энергии, а также оценить риск $Q_0(8760)$, связанный с потерей живучести квартиры в течение года из-за появления токов КЗ в элементах узлов нагрузки.

Используя формулы (13) – (15), находим:

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot T} = \frac{12}{8 \cdot (33 \cdot 8760)} = 5,19 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1},$$

$$\mu = \frac{1}{d} = \frac{1}{5,56 \cdot 10^{-5}} = 17985 \text{ ч}^{-1},$$

$$\lambda_s = \frac{m}{N_s \cdot T} = \frac{9}{8 \cdot (33 \cdot 8760)} = 3,89 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}.$$

В том случае, если соблюдается условие (9), находим τ_1 , используя формулу (11):

$$\tau_0 = \frac{\lambda + \lambda_s}{\lambda \lambda_s} = \frac{(5,19 + 3,89)10^6}{5,19 \cdot 3,89} = 4,5 \cdot 10^5 \text{ ч} = 51,37 \text{ года}.$$

Дисперсию σ_0 определим, пользуясь формулой (12): $\sigma_0 = 3,22 \cdot 10^5 \text{ ч}$.

Ввиду того, что $\tau_0 \neq \sigma_0$, значение $Q_0(8760)$ находим, пользуясь формулой (10):

$$\begin{aligned} Q_0(8760) &= 1 - \frac{1}{\lambda - \lambda_s} (\lambda e^{-\lambda_s 8760} - \lambda_s e^{-\lambda 8760}) = \\ &= 1 - 0,769231 (5,19 e^{-0,034076} - 3,89 e^{-0,04564}) = 7,54 \cdot 10^{-4}. \end{aligned}$$

Показатели $\tau_0 = 51,37$ года и $Q_0(8760) = 7,54 \cdot 10^{-4}$ позволяют характеризовать пожарную безопасность жилой квартиры при эксплуатации электрической сети 0,22 кВ.

Выводы

1. Предложена простая в использовании инженерная методика оценки риска, связанного с потерей живучести помещений, в которых эксплуатируется электрическая сеть 0,38/0,22 кВ и потребители электрической энергии.

2. Для восьмиквартирного двухэтажного дома произведена оценка риска, связанного с потерей живучести жилых квартир из-за повреждений (коротких замыканий) в элементах электрической проводки 0,22 кВ или в потребителях электроэнергии.

3. Установлено, что среднее время до потери живучести квартиры составило $\tau_0 = 51,37$ года, а риск, связанный с потерей её живучести в течение года составил величину $Q_0(8760) = 7,54 \cdot 10^{-4}$.

Список литературы / References

1. Смелков, Г. И. К вопросу об актуализации нормативной базы в области обеспечения пожарной безопасности электроустановок / Г. И. Смелков, В. А. Пехотиков, О. И. Грузинова // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения : Материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 14 апреля 2020 года. Т. 1. – Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2020. – С. 52–53. – EDN RXHNDH.

Smelkov, G. I., Pekhotikov, V. A., Gruzina, O. I. [On the issue of updating the regulatory framework in the field of fire safety of electrical installations]. Fire safety: modern challenges. Problems and solutions : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, April 14, 2020. Vol. 1. Saint Petersburg University of the State Fire Service EMERCOM of Russia Publ., 2020, pp. 52-53. EDN RXHNDH (In Russian)

2. Полухин О. В. Автоматизированный метод исследования пережигающего действия дугового короткого замыкания // Ползуновский вестник. – 2012. – № 4. – С. 116–120.

Polukhin, O. V. [An automated method for studying the burning effect of an arc short circuit]. Polzunovskiy vestnik, 2012, no. 4, pp. 116-120. (In Russian)

3. Ковалёв, А. П. О причастности коротких замыканий в электрической проводке 0,4/0,22 кВ к пожарам в электрифицированных помещениях / А. П. Ковалёв, И. А. Бершадский, А. В. Згарбул // Промышленная энергетика. – 2018. – № 4. – С. 60–65. – EDN XPMAP

Kovalev, A. P., Bershadsky, I. A., Zgarbul, A. V. *O prichastnosti korotkikh zamykaniy v elektricheskoy provodke 0,4/0,22 kV k pozharom v elektrifitsirovannykh pomeshcheniyakh*

[On the involvement of short circuits in electrical wiring of 0.4/0.22 kV in fires in electrified rooms]. Industrial Power Engineering, 2018, no. 4, pp. 60-65. EDN XPMAUP (In Russian)

4. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И. А. Рябинин. – Санкт-Петербург: Политехника, Издательство Санкт-Петербургского университета, 2012. – 277 с.

Ryabinin, I. A. [Reliability and safety of structurally complex systems]. St. Petersburg, Polytechnic, St. Petersburg University Publ., 2012, 277 p. (In Russian)

5. Надежность систем энергетики сборник рекомендуемых терминов / отв. ред. – чл.-корр. РАН Н. И. Воропай; Рос. акад. наук [и др.]. – Москва: Энергия, 2007. – 191 с.

Voropay, N. I. (ed.). [Reliability of energy systems collection of recommended terms]. Moscow, Energiya, 2007, 191 p. (In Russian)

6. Соколянский, В. В. Расчёт пожарного риска: сущность методики, достоинства и недостатки / В. В. Соколянский // Вестник Академии гражданской защиты. – 2018. – № 4(16). – С. 54–60. – EDN VPEHZJ

Sokolianskiy, V. V. [Calculation of fire risk: essence of a technique, merits and demerits]. Civil defence Academy journal, 2018, no. 4 (16), pp. 54-60. (In Russian)

Дата поступления рукописи 27.05.2026

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамеевым

*Alexander Petrovich Kovalev, Dr. of Tech. Sci., Professor, Researcher; e-mail: abrecap@mail.ru
Federal State Institution «The Scientific Research Institute «Respirator» EMERCOM of Russia»
283048, Donetsk, Artyoma St., 157. Phone: +7 (856) 252-78-43*

*Victoria Viktorovna Yakimishina, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor,
Associate Professor of the Department; e-mail: yvsm@list.ru*

*Aleksandr Vasilievich Levshov, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor,
Associate Professor of the Department; e-mail: levshovaleksandr17@mail.ru
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Donetsk national technical university»
283001, Donetsk, Artyoma St., 58. Phone: +7 (856) 301-03-06*

THE RISKS OF LOSS OF SURVIVABILITY OF PREMISES IN WHICH 0.38/0.22 kV NETWORKS ARE OPERATED

Objective: To evaluate the risk of reduced survivability of premises equipped with 0.38/0.22 kV power networks with a solidly grounded neutral.

Methods: The study involved an analytical assessment of changes in the condition of the 0.38/0.22 kV electrical network and its automatic protective devices over time, using regular Markov processes with discrete states and continuous time.

Results: The risk of reduced survivability of apartments in a two-storey building with eight apartments was assessed. The apartments are supplied with a 0.22 kV electrical network. It was determined that the annual risk of apartment survivability loss due to short circuits is $Q_0(8760) = 7.54 \cdot 10^{-4}$. The average time until apartment survivability loss is $\tau_0 = 51.37$ years.

Scientific novelty. Calculation formulas have been obtained, which provide an opportunity to assess the risk associated with loss of survivability of premises in which 0.38/0.22 kV networks with a dead-earth neutral are operated.

Practical significance. An engineering methodology for assessing the survivability of premises in which a 0.38/0.22 kV electric grid with a dead-earth neutral is operated is proposed.

Keywords: risk; survivability; protection; room; electrical wiring; short-circuit currents; circuit breaker; Markov process.

For citation. Kovalev A. P., Yakimishina V. V., Levshov A. V. The risk of loss of survivability of premises in which 0.38/0.22 kV networks are operated. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 15-23. EDN DNLJOH

УДК [614.842:621.316.37]:544.772

Павел Владимирович Молодоженцев, начальник управления; e-mail: ugps6okvr@yandex.ru

Федеральное государственное казенное учреждение

«Специальное управление федеральной противопожарной службы № 10 МЧС России»

456080, г. Трехгорный, Челябинская область, ул. Заречная, 13. Тел.: +7 (922) 712-58-12

Андрей Дмитриевич Ищенко, д-р техн. наук; e-mail: adinko@mail.ru

Артём Игоревич Соковнин, канд. техн. наук, доцент; e-mail: sokovninartem88@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Академия Государственной противопожарной службы МЧС России»

129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, стр. 3. Тел.: +7 (926) 935-42-68

СДЕРЖИВАНИЕ ПОЖАРОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Цель. Проведение исследований и разработка технологии на основе обоснования рациональных параметров и мобильности конструкции технического средства сдерживания пожаров на объектах энергетики в начальной стадии.

Методы. Использованы аналитические, теоретические и экспериментальные методы исследования физических процессов, теории гидрогазодинамики и теории подобия процессов.

Результаты. Установлены аналитические зависимости газовой и жидкостной составляющих аэрозоля применяемого для тушения пожара в замкнутом объёме. Применённое математическое моделирование обосновывает рациональные параметры и мобильность предлагаемой конструкции технического средства сдерживания пожаров, а также соответствие выбранным критериям.

Научная новизна. Определены параметры подачи аэрозоля техническим средством сдерживания пожара на объектах энергетики в начальной стадии, обоснованы тактико-технические характеристики данного средства.

Практическая значимость. Разработана методика исследования концентрации газожидкостного огнетушащего состава (аэрозоли), применяемого для сдерживания пожара на объектах энергетики. Получение достоверных данных об огнетушащей способности применяемых при пожарах составов позволит повысить уровень пожарной безопасности объекта энергетики и эффективность ведения боевых действий по тушению пожара.

Ключевые слова: аэрозоль; локализация пожара; объёмное тушение; комбинированное огнетушащее вещество; замкнутый объём; мобильная установка пожаротушения; технология сдерживания.

Для цитирования: Молодоженцев П. В., Ищенко А. Д., Соковнин А. И. Сдерживание пожаров в помещениях объектов энергетики // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 3 (63). – С. 24–32. – EDN VJROME

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Требования электробезопасности и режима доступа к тушению пожара на энергетические объекты регулируются специальной нормативно-правовой базой. Время прибытия подразделений пожарной охраны в городах составляет до 10 минут, а в сельской местности до 20 минут. Среднее время свободного развития пожара в помещениях энергетических объектов, с учетом всех действий пожарных расчетов составляет более 20 минут. Исследования свидетельствуют, что пожар значительно усиливается после 10-й минуты свободного развития. В результате прямой и косвенный материальные ущербы от пожара возрастают в геометрической прогрессии, значительно увеличиваются риски травматизма и гибели людей. Для предотвращения распространения пожара до прибытия пожарных расчетов необходимо оперативно подавать огнетушащие вещества в зону горения. В процессе исследований использованы методы

физического эксперимента, наблюдения, сравнения, решены задачи по выявлению и подтверждению эффективности использования комбинированных огнетушащих смесей в замкнутых объёмах. Определены параметры подачи аэрозоля техническим средством сдерживания пожара в начальной стадии развития, обоснованы его тактико-технические характеристики. Это позволило разработать принципиальную схему технического устройства, обеспечивающего подачу огнетушащих веществ персоналом объекта в любую точку здания или сооружения.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ научно-технической литературы по данной теме показал, что главная сложность тушения пожара в помещении объекта энергетики заключается в ограниченных возможностях приступить к нему в начальной стадии пожара [1–5].

До настоящего времени исследования по прекращению горения в помещениях объектов энергетики сосредоточены на разработке теорий и создании автоматических и автономных установок пожаротушения, внедрению первичных средств пожаротушения, совершенствованию тактико-технических возможностей пожарных подразделений. Участие профилактического состава, дозорных расчетов и действия персонала объекта энергетики в сдерживании пожара до прибытия профессиональных пожарных оставались, изучены недостаточно.

Эксплуатация автоматических установок пожаротушения выявляет ряд объективных проблем, таких как недостаточная нормативная база, значительные финансовые затраты на проектирование, монтаж и обслуживание, отказы в работе (в 15 % случаев от общего количества срабатываний). Персонал объекта энергетики в начальной стадии пожара способен выполнить ручной пуск стационарных установок пожаротушения или применить первичные средства пожаротушения, такие как огнетушители и пожарные краны, при условии отсутствия угрозы жизни и здоровью. Однако огнетушители имеют ограничения по классам пожаров и короткий временной параметр использования, в пожарных кранах нет диэлектрического оборудования и современных пожарных стволов, обеспечивающих безопасную подачу воды на оборудование под напряжением [6].

Робототехнические комплексы имеют высокую стоимость, обладают рядом недостатков, включая отсутствие супервизорного управления, отсутствие статической устойчивости в режиме дистанционного управления, сложности с обеспечением непрерывной подачи огнетушащих веществ и отсутствие возможности автоматической прокладки рукавных линий на большие расстояния. Всё перечисленное делает их малоэффективными в сдерживании пожаров без участия человека [7].

Соответственно, создание технологии сдерживания пожара в помещениях энергетических объектов до прибытия пожарных подразделений – актуальная научно-техническая задача, имеющая важное практическое значение.

Цель исследования. Проведение исследований и разработка технологии на основе обоснования рациональных параметров и мобильности конструкции технического средства сдерживания пожаров на объектах энергетики в начальной стадии.

Результаты исследований. Анализ тушения пожаров в помещениях энергетических объектов показал, что основным огнетушащим веществом является вода, которой, наряду с преимуществами (доступность, хорошее охлаждающее свойство и значительное тепловое расширение), свойственны существенные

недостатки при подаче компактных струй (неспособность обеспечить объёмное тушение, высокая электропроводность). Особо стоит отметить, что применение объёмного способа тушения позволяет исключить участие человека после запуска огнетушащих веществ в помещение. Применяемые в настоящее время газы и огнетушащие порошки обладают высокой стоимостью и, как правило, требуют сложных (стационарных) технических решений. Наиболее вероятным подходом к выбору эффективной технологии сдерживания пожара является комбинированное использование нескольких доступных компонентов огнетушащих веществ, подаваемых в виде аэрозоля.

Для достижения цели проведены физические эксперименты, было изготовлено опытное техническое средство сдерживания пожара по общей схеме (рис. 1, рис. 2) огневая камера и разработана¹ соответствующая методика испытаний [8].

Управление данным техническим средством осуществлялось вручную, оборудование размещено и закреплено на воздушном компрессоре с двигателем внутреннего сгорания, к которому при помощи резиновых шлангов малого диаметра присоединена ёмкость для огнетушащего вещества (воды) и оконечное устройство подачи аэрозоля или газа на тушение (рис. 2).

Основные параметры испытаний определены в соответствии с установленными требованиями² [9].



Рис. 1. Внешний вид мобильной установки пожаротушения

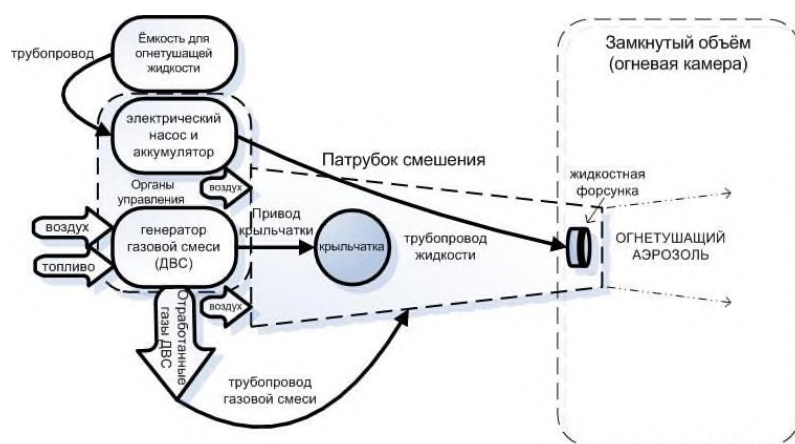


Рис. 2. Принципиальная схема мобильного устройства пожаротушения

¹ГОСТ Р 51057-97 «Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний»

²ГОСТ Р 53280.3-2009 «Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 3. Газовые огнетушащие вещества. Методы испытаний»

В рамках экспериментальной части проведены исследования по подаче огнетушащих веществ в технологические отверстия огневой камеры разными комбинациями. Основным моментом выбрано создание газожидкостных струй и мелкодисперсных сред длительного действия. Для распыления воды использован пневматический метод, который обеспечил необходимую дисперсность струи (диаметр капель от 200 до 700 мкм) и равномерное заполнение значительного объема огневой камеры при давлении до 810,6 кПа.

В процессе проведенных исследований определены основные технические характеристики данной установки, расход газового и аэрозольного огнетушащего вещества. Для проведения экспериментальных исследований использовано четыре 5-литровые герметичные ёмкости из полиэтилентерефталата, диаметр горла 48 мм и размеры 150 × 128 × 310 мм. Герметичные ёмкости оснащены отверстиями для подачи огнетушащего вещества внутрь и ниппелями для временного соединения с установкой пожаротушения, что предотвращало случайный выход огнетушащего вещества за пределы ёмкости.

Для проведения испытаний по определению расхода газового и газожидкостного огнетушащего вещества подготовили установку пожаротушения к работе (рис. 1). Провели сжатие ёмкостей в целях подачи большего количества веществ в закрытый объём и взвешивание. В течение 10 с обеспечивали подачу огнетушащего вещества в ёмкость под давлением 810,6 кПа, точное время подачи контролировали секундомером. После отсоединения ёмкости проводили её повторное взвешивание. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

Огнетушащее вещество	Масса пустой ёмкости, г	Масса ёмкости после подачи веществ, г	Масса поданного вещества, г	Время подачи, с
Газовая смесь	72,952	96,919	23,967	10,29
	72,958	97,023	24,065	10,17
	72,956	97,011	24,055	10,08
Жидкостная составляющая	73,152	100,952	27,800	10,06
	73,198	100,753	27,555	10,11
	73,066	101,295	28,229	10,02
Аэрозоль	73,452	125,529	52,077	10,07
	72,958	125,123	52,165	10,10
	73,569	125,678	52,109	10,14

Установлено, что максимальная разница временных параметров подачи газовой смеси в ёмкость составила 0,21 с, при этом масса подаваемого вещества изменялась в диапазоне 0,098 г. Для жидкостной составляющей эти показатели составили соответственно 0,09 с и 0,674 г. Результаты по расходу аэрозольного огнетушащего вещества показали, что максимальная разница временных параметров подачи аэрозоля в ёмкость составила 0,07 с, а масса подаваемого вещества изменялась в диапазоне 0,088 г.

Таким образом, проведенные эксперименты позволили установить, что масса подаваемого газового вещества в среднем составила 24,03 г, среднее время подачи –

10,18 с, средний расход – 2,38 г/с; средняя масса подаваемой жидкости – 27,86 г, среднее время подачи – 10,03 с, средний расход – 2,78 г/с; средняя масса подаваемого аэрозоля – 52,12 г, среднее время подачи – 10,10 с, средний расход – 5,16 г/с.

Проведена стратификация массива результатов более 50 экспериментов данных и установлено, что наименьшее время тушения всех чашечных горелок соответствует подаче огнетушащего вещества в нижнее технологическое отверстие (табл. 2).

Таблица 2

Время тушения чашечных горелок
при различных способах подачи огнетушащего вещества (с)

Огнетушащее вещество	Способ подачи	Номер чашечной горелки			
		1	2	3	4
Газовая смесь	снизу	320	395	355	350
	в середине	356	385	280	347
	сверху	381	452	405	408
Аэрозоль	снизу	207	200	217	219
	в середине	285	230	295	210
	сверху	322	305	315	307

Для определения различий в средних значениях времени тушения применен дисперсионный анализ. В качестве нулевой гипотезы выдвинуто предположение, что средние параметры времени тушения не зависят от выбранных методов. Анализ выполнен с использованием стандартного пакета анализа данных в MS Excel [10]. Дисперсионный анализ проведен по строкам данных (табл. 3), фактическое отношение критерия Фишера ($F = 22,17493$) превышает критическое значение ($F_{\text{крит.}} = 2,772853$). Это означает, что средние значения времени тушения различаются между группами и исследуемый фактор существенно влияет на данные. Учитывая, что Р-значение (вероятность достоверности) нулевой гипотезы составляет меньше 0,05, нулевая гипотеза о равенстве средних значений отвергается³.

Таблица 3

Результаты однофакторного дисперсионного анализа показателей способов тушения

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-значение	F _{крит.}
Между группами	104459,3	5	20891,87	22,17493	4,08E-07	2,772853
Внутри групп	16958,5	18	942,1389			
Итого	121417,8	23	–			

Так как F-статистика превышает критическое значение при выбранном уровне значимости, дисперсии случайных величин признаются неодинаковыми. Следовательно, поскольку различия в средних значениях времени тушения являются статистически значимыми, можно сделать вывод о том, что на время тушения

³ Семёнов, М. Е. Статистическое моделирование и прогнозирование. Лекция 5. Дисперсионный анализ / М. Е. Семенов. [Электронный ресурс]. – URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SME/work/Eco/Lec_5_SM_F.pdf (дата обращения: 06.03.2026).

оказывает влияние выбранный метод тушения [10]. Результаты математического моделирования обосновывают рациональные параметры и мобильность конструкции технического средства сдерживания пожаров, а также соответствие выбранным критериям.

Таким образом, на основании результатов экспериментальных исследований и проведенного статистического анализа, получены значения минимальной объемной огнетушащей концентрации подачи газа в середину (лучший результат при использовании газа – 21,33 %), аэрозолем сверху (наихудший результат при использовании аэрозоля – 15,25 %), аэрозолем снизу (лучший результат среди всех способов тушения – 10,36 %).

Важно отметить, что расчеты предполагают равномерное распределение огнетушащего вещества по всему объему камеры; при этом реальная минимальная огнетушащая концентрация зависит от конкретных условий (тип горючего материала, температура, давление и т. д.); полученные значения являются теоретическими и требуют экспериментального уточнения для конкретного сценария пожара.

Сравнение полученных и справочных значений концентраций огнетушащих веществ, применяемых в настоящее время на объектах энергетики [11], показало более низкую объемную концентрацию огнетушащего вещества при тушении аэрозолем снизу, чем аналогичный показатель для инертных разбавителей, диоксида углерода, галогеноуглеводородов и огнетушащих порошков (табл. 4).

Таблица 4

Сравнение огнетушащих концентраций

Технология тушения		Объемная концентрация, %	Расход, г/м ³
Экспериментальное значение	Тушение аэрозолем снизу	10,36	449,9
	Инертные разбавители (азот, аргон)	30	–
Справочное значение	Диоксид углерода	20	–
	Галогеноуглеводороды (хладоны)	2–14	–
	Огнетушащие порошки	–	200–500

При соблюдении технологии подачи предлагаемый аэрозоль обеспечивает эффективное объемное тушение в закрытых пространствах, что позволяет использовать его для сдерживания пожаров в помещениях энергетических объектов силами персонала.

Из разработанного устройства сдерживания пожара выходят мелкодисперсные частицы смеси, которые активно вытесняют продукты горения, забирают тепло, понижают температуру в помещении и создают на поверхностях защитную плёнку, препятствующую доступу кислорода. Аэрозольные частицы более активны, чем кислород, и быстро соединяются с молекулами горючего вещества. Облако частиц, образованное в результате участия аэрозоля в процессе горения, заполняет пространство вокруг зоны горения плотным облаком продуктов неполного сгорания, что позволяет снизить тепловое излучение, уменьшить скорость распространения пламени и защитить ограждающие конструкции зданий, подавляя процесс возгорания.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Основные критерии, выбранные в начале исследования – простота управления, низкая стоимость, высокая мобильность установки, доступность огнетушащих средств, универсальность применения, бесперебойная подача, достижимы при применении технического средства сдерживания пожара в сочетании с предлагаемыми способами подачи огнетушащих веществ.

Заложены основы формирования технологии сдерживания пожара в помещениях объекта энергетики силами персонала. Полученная общая объёмная концентрация аэрозоля 10,36 % (воды 0,02 %, газа 10,34 %) свидетельствует о перспективности использования данного метода в тушении пожаров. Логичным становится проведение дополнительных исследований с учётом ограниченных условий проведенных экспериментов.

В дальнейшем необходимо продолжить исследования, которые будут включать эксперименты в стандартных условиях помещений энергетических объектов для создания интенсивных очагов возгорания. Важно установить оптимальные концентрации компонентов аэрозоля и оценить скорость реагирования работников энергетических объектов, учитывая максимальную удалённость от очагов пожара. Представляется перспективным использование компьютерного моделирования описанных процессов для сокращения затрат на дорогостоящие физические эксперименты.

Список литературы / References

1. Безбородько, М. Д. Пожарная и аварийно-спасательная техника / М. Д. Безбородько, С. Г. Цариченко, В. В. Роевко. – Москва : Академия ГПС МЧС России, 2013. – С. 11–17.

Bezborodko, M. D., Tsarichenko, S. G., Roenko, V. V. *Pozharnaya i avarijno-spasatel'naya tekhnika* [Fire and Emergency Rescue Equipment]. Moscow, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia Publ., 2013, pp. 11-17 (In Russian)

2. Гордиенко, Д. М. Пожарная безопасность особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» (технические науки, отрасль нефтегазовая) : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Денис Михайлович Гордиенко. – Москва, 2021. – 386 с. Место защиты: ФГБОУ ВО «Академия государственной противопожарной службы МЧС России».

Gordienko, D. M. *Pozharnaya bezopasnost osobo opasnykh i tekhnicheskikh slozhnykh proizvodstvennykh objektov neftegazovogo kompleksa* [Fire Safety of Particularly Dangerous and Technically Complex Production Facilities in the Oil and Gas Complex: Speciality 05.26.03 «Fire and Industrial Safety» (Technical Sciences, Oil and Gas Industry): Dissertation for the Degree of Doctor of Technical Sciences / Denis Mikhailovich Gordienko]. Moscow, 2021, 386 p. Place of Defense: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. (In Russian)

3. Ищенко, А. Д. Теория локализации пожаров в зданиях объектов энергетики: специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» (технические науки, отрасль энергетика): автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Андрей Дмитриевич Ищенко. – Москва, 2021. – 48 с. Место защиты: ФГБОУ ВО «Академия государственной противопожарной службы МЧС России».

Ishchenko, A. D. *Teoriya lokalizatsii pozharov v zdaniyakh objektov energetiki* [Theory of Fire Localization in Buildings of Energy Facilities: Speciality 05.26.03 «Fire and Industrial Safety» (Technical Sciences, Energy Industry): Abstract of a Dissertation for the Degree of Doctor of

Technical Sciences / Andrey Dmitrievich Ishchenko]. Moscow, 2021, 48 p. Place of Defense: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. (In Russian)

4. 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 / Дмитрий Александрович Корольченко. – Москва, 2021. – 391 с. Место защиты: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

Korolchenko, D. A. *Ocenka vremeni blokirovaniya putej evakuacii opasnymi faktorami pozhara v zdaniyakh i sooruzheniyakh s uchetom mekhanizma tusheniya plameni veshchestvami razlichnoj prirody i stepeni dispersnosti* [Assessment of the Time of Blocking the Evacuation Routes by Dangerous Fire Factors in Buildings and Structures, Taking into Account the Mechanism of Extinguishing Flames with Substances of Various Nature and Dispersion Degree: Speciality 05.26.03 «Fire and Industrial Safety» (Construction): Dissertation for the Degree of Doctor of Technical Sciences / Dmitry Aleksandrovich Korolchenko]. Moscow, 2021, 391 p. Place of Defense: National Research Moscow State University of Civil Engineering. (In Russian)

5. Журавлев, Д. Е. Программно-аппаратный комплекс беспроводного мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики: специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» (технические науки, отрасль энергетика): автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Денис Евгеньевич Журавлев. – Москва: АГПС, 2022. – 24 с. Место защиты: ФГБОУ ВО «Академия государственной противопожарной службы МЧС России».

Zhuravlev, D. E. *Programmno-apparatnyy kompleks besprovodnogo monitoringa pozharной bezopasnosti obektov energetiki* [Software and Hardware Complex for Wireless Monitoring of Fire Safety at Energy Facilities : Speciality 05.26.03 «Fire and Industrial Safety» (Technical Sciences, Energy Industry): Abstract of a Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences / Denis Evgenievich Zhuravlev]. Moscow: AGPS, 2022, 24 p. Place of Defense: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia». (In Russian)

6. Алешков, М. В. Особенности развития и тушения пожаров на объектах электроэнергетики / М. В. Алешков, Д. С. Пушкин, А. А. Колбасин // Технологии техносферной безопасности. – 2010. – № 3 (31). – С. 9. – EDN NTMHHMV

Aleshkov, M. V., Pushkin, D. S., Kolbasin A. A. [Features of development and suppression of fires on objects of power]. *Technologies of Technosphere Safety*, 2010, no. 3(31), pp. 9. EDN NTMHHMV (In Russian)

7. Перспективы разработки автономных наземных робототехнических комплексов военного назначения / В. С. Лапшов [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 1 (174). – С. 156–168.

Lapshov, V. S., Noskov, V. P., Rubtsov, I. V., Rudianov, N. A., Gurji, A. I., Ryabov, A. V., Khrushchev, V. S. [Future developments autonomous ground RTC special]. *Izvestiya SFEDU. Engineering Sciences*. 2016, no. 1(174), pp. 156-168. (In Russian)

8. Молодоженцев, П. В. Применение огнетушащих веществ и соответствующих технических устройств для целей пожаротушения / П. В. Молодоженцев // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – 2025. – № 14. – С. 164–171.

Molodozhentsev, P. V. [The use of fire extinguishing agents and related technical devices for fire extinguishing purposes]. *Problems of technosphere safety: proceedings of the international scientific and practical conference of young scientists and specialists*, 2025, no. 14, pp. 164-171. (In Russian)

9. Молодоженцев, П. В. Тушение пожаров на объектах энергетики на начальной стадии / П. В. Молодоженцев, А. Д. Ищенко // Проблемы техносферной безопасности:

материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – 2023. – № 12. – С. 58–63.

Molodozhentsev, P. V., Ishchenko, A. D. [Extinguishing fires at energy facilities in the initial stage]. Problems of technosphere safety: proceedings of the international scientific and practical conference of young scientists and specialists, 2023, no. 12, pp. 58-63. (In Russian)

10. Вытовтов, А. В. Математическое моделирование пожаров полевым методом с использованием программы «Fire dynamics simulator» / А. В. Вытовтов // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2011. – № 1 (2). – С. 15–18.

Vytovtov, A. V. *Matematicheskoe modelirovanie pozharov polevym metodom s ispolzovaniem programmy «Fire dynamics simulator»* [Mathematical modeling of fires using the field method and the program «Fire dynamics simulator»]. *Sovremennyye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoy oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy*. 2011, no. 1 (2), pp. 15-18. (In Russian)

11. Илюшов, Н. Я. Пожаровзрывобезопасность. Огнетушащие вещества: учебное пособие / Н. Я. Илюшов. – Новосибирск: НГТУ, 2016. – 123 с.

Ilyushov, N. Ya. *Pozharovzryvobezopasnost. Ognetushashchie veshchestva: uchebnoe posobie* [Fire and Explosion Safety. Fire Extinguishing Agents: textbook]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2016, 123 p. (In Russian)

Дата поступления рукописи 02.04.2026

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук Ал. В. Азарковым

Pavel Vladimirovich Molodozhentsev, Head of the Department; e-mail: ugps6okvr@yandex.ru
Federal State Institution «Special Department of the Federal Fire Service No. 10
of the Ministry of Emergency Situations of Russia»

456080, Trekhgornyy, Chelyabinsk Region, Zarechnaya St., 13. Phone: +79227125812

Andrey Dmitriyevich Ishchenko, Dr. of Tech. Sci.; e-mail: adinko@mail.ru

Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
129366, Moscow, Boris Galushkin St., 4, Bld. 3.

Artem Igorevich Sokovnin, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor; e-mail: sokovninartem88@yandex.ru
Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
129366, Moscow, Boris Galushkin St., 4, Bld. 3. Phone: +79269354268

CONTAINMENT OF FIRES IN ENERGY FACILITIES

Purpose. Research and development of technology for fire containment at energy facilities in the initial stage.

Methods. Analytical, theoretical, and experimental methods of studying physical processes, hydrogas dynamics theory, and process similarity theory were used.

Results. Analytical dependencies of the gas and liquid components of the aerosol used for fire suppression in a closed volume were established. The applied mathematical modeling substantiates the rational parameters and mobility of the proposed design of a technical means for fire containment, as well as its compliance with the selected criteria.

Scientific novelty. The parameters of aerosol supply by a technical means of fire containment at energy facilities at the initial stage have been determined, and the tactical and technical characteristics of this means have been substantiated.

Practical value. In the development of a methodology for studying the concentration of a gas-liquid fire-extinguishing composition (aerosol) used to contain a fire at energy facilities. Obtaining reliable data on the fire-extinguishing capacity of the applied compositions during fires will increase the level of fire safety of an energy facility and the effectiveness of firefighting operations.

Keywords: aerosol; fire localization; volumetric extinguishing; combined fire-extinguishing agent; enclosed volume; mobile fire-extinguishing unit; fire containment technology.

For citation: Molodozhentsev P. V., Ishchenko A. D., Sokovnin A. I. Containment of fires in energy facilities. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 24-32. EDN VJROME

УДК [614.841.245:621.316.11]

Юлия Сергеевна Козлова, канд. техн. наук, доцент, e-mail: y_kozlova@ugrasu.ru
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Югорский государственный университет»
628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16. Тел. +7(3467)-377-000

АЛГОРИТМ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРОПРОВОДКЕ

Цель. Повышение уровня пожарной безопасности гражданских зданий путем разработки алгоритма работы системы поддержки принятия решений (СППР).

Методы. В основу работы положен системный подход, при котором электропроводка рассматривается как совокупность взаимосвязанных параметров (параметры питающего напряжения, внутренние несимметрия и несинусоидальность, температуры и состояния изоляции). Для разработки СППР использован метод логического моделирования, а классификация состояний реализована через пороговые значения вероятности.

Результаты. Разработан логико-вычислительный алгоритм блока СППР, обеспечивающий классификацию состояния электропроводки по трем уровням: «Норма», «Внимание», «Пожароопасная ситуация», и включающий механизм факторного анализа, позволяющий системе в автоматическом режиме определять доминирующую причину роста вероятности замыкания. Предложенная логика обеспечивает формирование управляющих сигналов на отключение линии при достижении критического порога вероятности 0,1, что создает необходимый временной резерв для предотвращения термического разрушения кабеля.

Научная новизна. Разработана трехуровневая модель принятия решений, отличающаяся от существующих защитных систем наличием зоны предупредительного реагирования. Обоснована система вероятностных критериев, обеспечивающая селективность работы защиты не по амплитудным значениям тока, а по степени прогнозируемого риска возникновения замыкания между жилами проводника.

Практическая значимость. Внедрение разработанного алгоритма СППР в системы мониторинга зданий позволит существенно снизить риск возникновения пожаров электротехнического происхождения за счет детектирования скрытых дефектов изоляции.

Ключевые слова: *низковольтные электрические сети, замыкание, пожарная опасность; показатели качества электрической энергии, высшие гармоники тока; перегрев; критерии оценки.*

Для цитирования: Козлова Ю. С. Алгоритм системы поддержки принятия решений на основе критериев оценки вероятности возникновения замыканий в электропроводке // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 3 (63). – С. 33–38. – EDN FJNTHL

Постановка проблемы. Обеспечение пожарной безопасности гражданских зданий является одной из приоритетных задач государства. Согласно статистическим данным МЧС, значительная доля пожаров в жилом секторе и зданиях общественного назначения инициируется неисправностями электроустановок [1].

Наиболее опасным и труднопрогнозируемым видом дефекта является замыкание между жилами проводов и кабелей, возникающее вследствие деградации изоляционных материалов под воздействием эксплуатационных факторов.

Традиционные аппараты защиты эффективны лишь на этапе перехода повреждения в стадию короткого замыкания или значительного тока утечки [2–4]. Однако они не способны детектировать предаварийные состояния – латентные процессы термической деструкции изоляции и частичные пробои между фазным и нулевым проводниками. В этой связи критически важным становится переход

от реактивного обслуживания к прогностическому мониторингу на основе комплексного анализа параметров электрического режима.

В работе [5] изложена концепция комплексного мониторинга параметров эксплуатации электроустановок для сверхраннего выявления пожароопасных состояний, включающая в себя в том числе блок принятия решений (СППР), а данное исследование является ее логическим продолжением и посвящено расширению указанного блока ввиду следующих факторов. Электрические режимы гражданских объектов характеризуется высокой стохастичностью нагрузок и наличием значительной несинусоидальности [6–9]. Внедрение алгоритмизированной системы поддержки принятия решений (далее – СППР) с четкими критериями /и индикаторами позволяет отделить эксплуатационные изменения от признаков реальной деградации изоляции.

Цель работы. Повышение уровня пожарной безопасности гражданских зданий путем разработки алгоритма работы системы поддержки принятия решений.

Методология исследования сфокусирована на разработке логико-алгоритмического обеспечения СППР. Принимается, что процедуры первичного сбора данных, фильтрации сигналов и математического расчета вероятности возникновения замыкания Q реализованы в рамках базового модуля мониторинга, описанного автором ранее [5].

Поскольку оценка вероятности замыкания требует одновременного учета совокупности факторов, то входным вектором для алгоритма СППР являются: текущее значение вероятности Q , максимально допустимая температура нагрева жил T для данного типа изоляции и массив частных индикаторов состояния (отклонение параметров питающего напряжения, коэффициенты несимметрии и несинусоидальности сети потребителя, показатель износа изоляции). То есть вероятность возникновения замыкания между жилами может быть представлена в виде функции перечисленных выше параметров:

$$Q = f(K_{0U}; K_{U(n)}; K_I; K_{0I}; D; T), \quad (1)$$

где $K_{0U}; K_{U(n)}$ – нормируемые показатели качества питающего напряжения (несимметрия и несинусоидальность по ГОСТ 32144-2013);

$K_I; K_{0I}$ – ненормируемые показатели качества (несимметрия и несинусоидальность по току);

D – износ изоляции проводника;

T – температура жилы проводника, °C.

Работы блока СППР строятся на алгоритме многокритериальной оценки. В основу логики принятия решений заложен принцип динамического нормирования – алгоритм СППР сопоставляет прогнозные значения Q и T , динамически определяемые расчетным ядром системы [5] на основе текущей стадии старения изоляции S_i (модуль расчетного блока обрабатывает вектор прогнозных значений параметров электрического режима Y и определяет соответствующие риски R).

Результаты и их обсуждение. Состояние системы предлагается классифицировать по трем основным уровням, каждому из которых соответствуют те или иные критерии, а также определенный статус безопасности (табл.).

Выбор граничного значения $Q = 0,1$ в качестве критического обоснован необходимостью обеспечения высокой чувствительности системы к скрытым дефектам.

Таблица

Критерии состояния системы

Состояние	Критерий	Индикатор	Характеристика режима
Норма	$Q < 0,01$ И $T \leq T_{\text{крит}}$	$K_{0U} < K_{0U\text{доп}}$ И $K_U < K_{U\text{доп}}$ И $K_{0I} < K_{0I\text{доп}}$ И $K_I < K_{I\text{доп}}$	Безопасная эксплуатация
Внимание	1) $Q < 0,01$ И $T \geq T_{\text{крит}}$ 2) $0,01 < Q < 0,1$	$K_{0U} > K_{0U\text{доп}}$ ИЛИ $K_U > K_{U\text{доп}}$	Зона риска
		$K_{0I} > K_{0I\text{доп}}$ при $K_{0U} \leq K_{0U\text{доп}}$	
		$K_I > K_{I\text{доп}}$ при $K_U \leq K_{U\text{доп}}$	
Пожароопасная ситуация	$Q \geq 0,1$	—	Отключение

В отличие от стандартных расцепителей, срабатывающих при $Q \rightarrow 1$, то есть, когда замыкание уже произошло, данная СППР реализует принцип превентивного отключения. Переход системы в состояние «Внимание» при $Q > 0,01$ позволяет выявлять старение электропроводки на ранних стадиях, что дает возможность провести плановую замену участка сети, не доводя ситуацию до аварийного отключения и остановки процессов жизнеобеспечения здания. Физический смысл нижнего порога 0,01 – область естественного фона эксплуатации – для любой электротехнической системы существует вероятность отказа, отличная от нуля. Однако выход за этот предел сигнализирует о появлении неслучайной компоненты в диагностируемых параметрах.

Порог $Q = 0,1$ обусловлен результатами исследований процессов теплового пробоя диэлектриков [10–11], на основе которых сделан вывод о том, что после достижения определенной степени деструкции лавинообразный рост вероятности замыкания происходит в крайне сжатые сроки. При $Q = 0,1$ процесс перехода от дефекта к аварии становится трудноуправляемым. В гражданских зданиях время реакции системы и персонала на сигнал «Внимание» может быть ограничено, а установка порога на выбранном уровне создает необходимый временной резерв для безопасного завершения технологических и иных процессов обеспечения жизнедеятельности перед автоматическим отключением питания.

Следует отметить, что выбранные пороговые значения могут быть скорректированы в зависимости от функционального назначения объекта и по иным причинам.

Таким образом, алгоритм работы СППР представим в следующем виде (рис.). В рамках алгоритма СППР также реализована функция идентификации доминирующих факторов, вносящих наибольший вклад в отклонение режима от нормативного (параметры питающего напряжения, внутренние несимметрия и несинусоидальность, накопленный износ изоляции). Ранжирование факторов по степени влияния возможно осуществлять с помощью метода экспертных оценок или путем использования весовых коэффициентов.

Логика алгоритма такова, что при значительном ухудшении состояния изоляции порог опасного состояния достигается мгновенно, независимо от качества питающего напряжения и внутренних параметров режима. Несоответствие параметров напряжения само по себе не вызывает срабатывания системы, удерживая ее в зоне «Внимание», однако при наложении на фактор изношенной изоляции оно выступает катализатором, переводя систему в «Пожароопасную ситуацию».

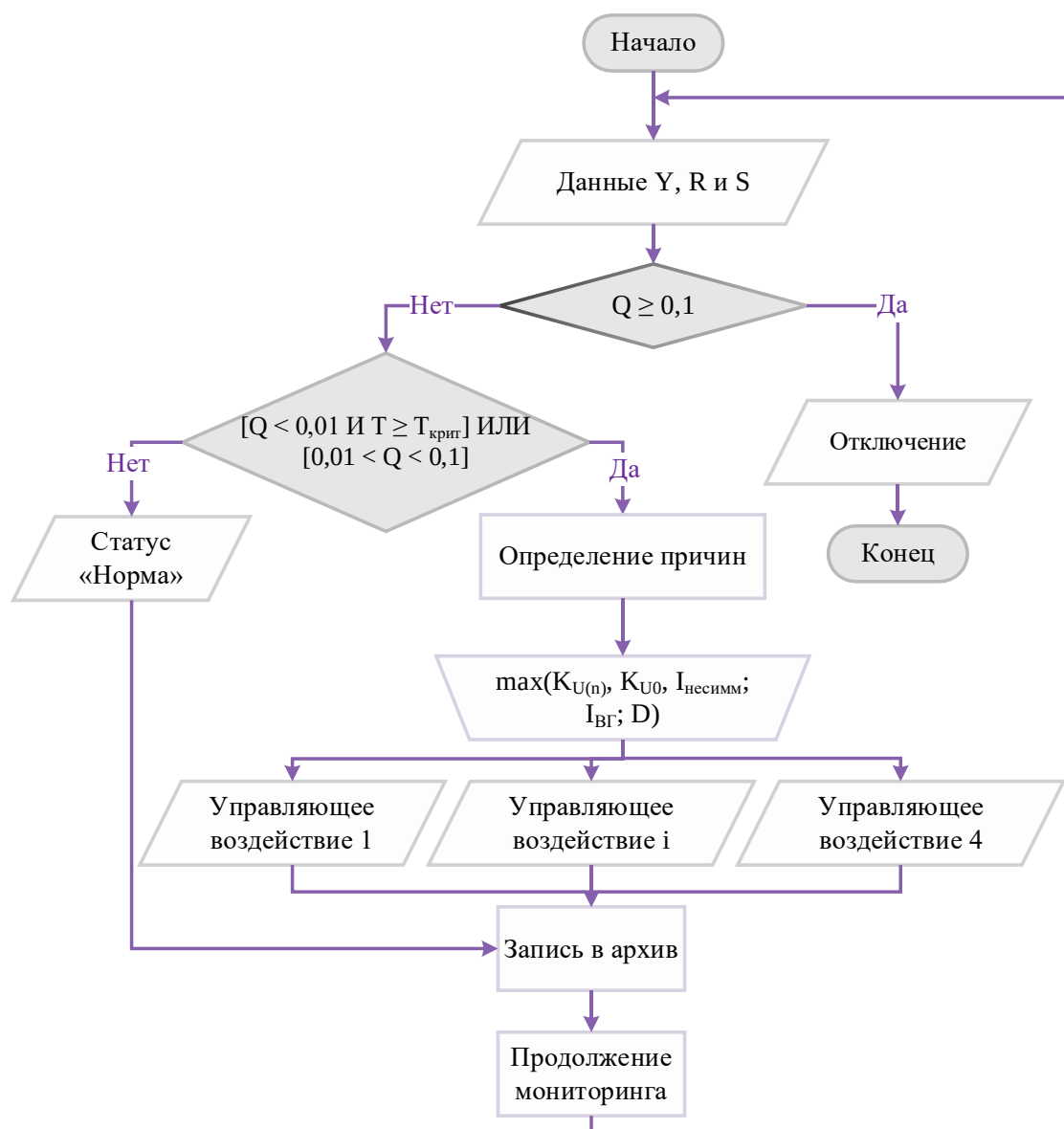


Рис. Блок-схема алгоритма работы СППР

Предложенный подход позволяет СППР не только формировать команду на отключение, но и генерировать диагностическое сообщение с указанием первопричины. Это делает мониторинг систему [5] полноценным инструментом предиктивной аналитики.

Выводы. Разработка иерархии индикаторов позволяет структурировать процесс оценки рисков, а формализация алгоритма принятия решений обеспечивает исключение субъективности при интерпретации данных мониторинга. Это обеспечивает автоматизацию раннего оповещения о рисках возникновения дуговых замыканий и теплового пробоя изоляции еще до срабатывания аппаратов защиты.

Таким образом, реализация разработанного алгоритма оценки обеспечит снижение вероятности возникновения пожароопасных ситуаций, вызванных систематическими перегрузками нулевых проводников токами высших гармоник в условиях массового применения бытовых нелинейных нагрузок.

Список литературы / References

1. Пожары и пожарная безопасность в 2024 г. Статистика пожаров и их последствия: информационно-аналитический сборник. – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2025. – 80 с.

Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2024 g. Statistika pozharov i ikh posledstviya: informatsionno-analiticheskij sbornik [Fires and Fire Safety in 2024. Fire Statistics and Their Consequences: Information and Analytical Collection]. Balashikha: FGBU VNIPO EMERCOM of Russia Publ., 2025, 80 p. (In Russian)

2. Обеспечение эффективной защиты от коротких замыканий внутренних сетей объектов АПК / А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, Б.С. Компанеец, А.В. Цуканов // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – №3. – С. 54–57.

Soshnikov, A. A., Drobiazko, O. N., Kompanyets, B. S., Tsukanov, A. V. [Provision of effective protection against short circuits in internal electrical networks of agro-industrial objects]. Achievements of science and technology in agro-industrial complex, 2017, no. 3, pp. 54-57. (In Russian)

3. Shaloh, S., Sofi, Sh., Abbas, A., Khawaja, S., Qureshi, F., Hassan, H., Amoozegar, A., Tilwani, Sh., Majeed, H. A Novel and Extremely Fast Saturation Less Circuit Breaker Using Non-Mechanical Components // International Journal of Cloud Applications and Computing. – 2026. – Vol. 16. – Issue 1. – URL: <https://doi.org/10.4018/IJCAC.401331>. (In English)

4. Husnul Hadi Ali, Hussin, S. M., Norzanah Rosmin, Norazliani Md Sapari, Madihah Md Rasid, Normaisharah Mamat Evaluating the Fault Response of Mechanical, Solid-State, and Hybrid Circuit Breakers in Residential and Industrial Applications // ELEKTRIKA – Journal of Electrical Engineering. – 2025. – no. 24(3) – P. 305–309. – URL: <https://doi.org/10.11113/elektrika.v24n3.717>. (In English)

5. Козлова, Ю. С. Концепция комплексного мониторинга параметров эксплуатации электроустановок для сверхраннего выявления пожароопасных состояний / Ю.С. Козлова // Безопасность труда в промышленности. – 2026. – №1. – С. 43–48.

Kozlova, Yu. S. [The concept of integrated monitoring of electrical installation operational parameters for early detection of fire-hazardous conditions]. Occupational Safety in Industry, 2026, no. 1, pp. 43-48. DOI: 10.24000/0409-2961-2026-1-43-49. (In Russian)

6. Deng, J., Lin, Q., Li, Y., Wang, C. Effect of overload current values on the fire characteristics of polyethylene (PE) copper wires // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2023. – Vol. 148. – P. 11695–11705. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10973-023-12522-5> (In English)

7. Козлова, Ю. С. Факторы несимметрии и несинусоидальности в электрических сетях при обеспечении пожарной безопасности электроустановок / Ю. С. Козлова, В. И. Зыков, М. В. Крупин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2025. – № 4. – С. 118–124. DOI 10.25257/FE.2025.4.118-124.

Kozlova, Yu. S., Zykov, V. I., Krupin, M. V. [Factors of asymmetry and non-sinusoidality in electrical networks in ensuring fire safety of electrical installations]. Fire and emergencies: prevention, elimination, 2025, no. 4, pp. 118-124. DOI 10.25257/FE.2025.4.118-124. (In Russian)

8. Кугучева, Д. К. Исследование несимметрии напряжений в электрических сетях низкого напряжения с объектами микрогенерации / Д. К. Кугучева, М. С. Харитонов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2025. – №1. – С. 55–66.

Kugucheva, D. K., Kharitonov, M. S. [Study of voltage unbalance in low-voltage electrical networks with microgeneration systems]. Vestnik of Ivanovo State Power Engineering University, 2025, no. 1, pp. 55-66. (In Russian)

9. Наумов, И. В. Устройство для управления несимметричными режимами в компонентах низковольтных систем электроснабжения / И. В. Наумов, Э. С. Федорова,

М. А. Якупова // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2023. – Т. 16, № 2. – С. 175–186.

Naumov, I. V., Fedorinova, E. S., Yakupova, M. A. [A device for controlling anbalancing modes in components of low-voltage power supply systems]. Journal of Siberian federal university. Engineering and technologies, 2023, vol. 16, no. 2, pp. 175-186. (In Russian)

10. Вершинин, Ю. Н. Электрический пробой твердых диэлектриков. Основы феноменологической теории и ее технические приложения / Ю. Н. Вершинин. – Новосибирск: Издательство «Наука», Сибирское отделение, 1968. – 212 с.

Vershinin, Yu. N. [Electric Breakdown of Solid Dielectrics. Fundamentals of Phenomenological Theory and Its Technical Applications]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1968, 212 p. (In Russian)

11. Дубяго, М. Н. Метод диагностики и прогнозирования теплового пробоя изоляционных материалов, вызванных частичными разрядами / М. Н. Дубяго, Н. К. Полуюнович // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2017. – №8 (193). – С. 179–189.

Dubyago M.N., Poluyanovich N.K. [Method of diagnostics and forecasting of the thermal breakdown in insulating materials caused by partial discharges]. Izvestiya SFedU. Engineering Sciences, 2017, no. 8 (193), pp. 179-189. (In Russian)

Дата поступления рукописи 21.04.2026

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук Р. А. Тишиным

*Yuliya Sergeevna Kozlova, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor; e-mail: y_kozlova@ugrasu.ru
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Yugra State University
628011, Khanty-Mansiysk, Chekhov St., 16. Phone: +7(3467)377-000*

ALGORITHM OF A DECISION SUPPORT SYSTEM BASED ON A CRITERIA FOR ASSESSING THE PROBABILITY OF OCCURRENCE OF SHORT FAULTS IN ELECTRICAL WIRING

Objective. To enhance fire safety in civil buildings through the development of a decision support system (DSS) algorithm.

Methods. The work is based on a systems approach, which considers electrical wiring as a set of interconnected parameters (supply voltage parameters, internal asymmetry and nonsinusoidality, temperature, and insulation conditions). A logical modeling method was used to develop the DSS, and the classification of states is implemented using probability thresholds.

Results. A logical and computational algorithm has been developed for the decision support system (DSS) unit. It classifies the electrical wiring condition into three levels: «Normal», «Warning», and «Fire Hazard». It also includes a factor analysis mechanism that allows the system to automatically determine the dominant cause of an increased short-circuit probability. The proposed logic generates control signals to shut off the line when a critical probability threshold of 0.1 is reached, creating the necessary time reserve to prevent thermal failure of the cable.

Scientific novelty. A three-level decision-making model has been developed, differing from existing protection systems by the inclusion of a preemptive response zone. A system of probabilistic criteria has been developed that ensures selective protection based not on current amplitudes, but on the predicted risk of short circuits between conductor cores.

Practical value. The implementation of the developed DSS algorithm in building monitoring systems will significantly reduce the risk of electrical fires by detecting hidden insulation defects.

Keywords: low-voltage electrical networks, short circuits, fire hazard; power quality indicators, higher harmonics of current; overheating; evaluation criteria.

For citation: Kozlova Yu. S. Algorithm of a decision support system based on a criteria for assessing the probability of occurrence of short faults in electrical wiring. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 33-38. EDN FJNTHL

УДК 622.882.7:[622.53:614.842.62]

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

Дмитрий Алексеевич Политучий, нач. отд.; e-mail: poletuchi@mail.ru

Дмитрий Сергеевич Буряк, ст. науч. сотр.; e-mail: buryak_ds@mail.ru

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

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

Дмитрий Сергеевич Евтеев, ст. преп. каф.; e-mail: d.evteev@academygps.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Академия государственной противопожарной службы Министерства

Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям

и ликвидации последствий стихийных бедствий»

129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4. Тел.: +7 (495) 617-27-27

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕДИНЕННОЙ СЕТИ ШАХТНОГО ВОДООТЛИВА И ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Цель. Обосновать гидравлические параметры в расчетных точках объединенной сети подземного водоотлива и противопожарного водоснабжения с учетом подачи воды по пожарным рукавам.

Методы. Применены аналитический и теоретический методы исследования с обработкой результатов при использовании пакетов прикладных компьютерных программ.

Результаты. Получены аналитические зависимости по определению расхода и напора воды в расчетных точках при невозможности подачи воды от основного источника противопожарного водоснабжения с поверхности шахты и применения для тушения пожара объединенной сети подземного водоотлива и пожарно-оросительных трубопроводов с использованием пожарных рукавов.

Научная новизна. Разработан расчет рукавных линий, отличающийся от известных учетом гидравлических параметров в точке подключения к объединенной сети подземного водоотлива и противопожарного водоснабжения, количества соединительных пожарных головок, разностей геодезических отметок начальной и конечной точек, геометрии горной выработки и угла наклона пожарного ствола, обеспечивающего наибольшую дальность подачи струи воды.

Практическая значимость. Разработанный расчет рукавных линий при подаче от объединенной сети подземного водоотлива и противопожарного водоснабжения может быть использован для определения гидравлических параметров в расчетных точках, в случае отсутствия возможности применения основного источника противопожарного водоснабжения.

Ключевые слова: угольная шахта; аварийный пожарный участок; горная выработка; подземные пожары; шахтный водоотлив; противопожарное водоснабжение; гидравлический расчет.

Для цитирования: Агарков Ал. В., Политучий Д. А., Буряк Д. С., Евтеев Д. С. Определение гидравлических параметров объединенной сети шахтного водоотлива и противопожарного водоснабжения // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 3 (63). – С. 39–47. – EDN ARCSI

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Несмотря на ежегодное повышение уровня промышленной безопасности угольных шахт, добыча угля практически всегда сопровождается различными авариями: подземными пожарами, взрывами газовоздушной смеси и угольной пыли, внезапными выбросами угля, породы и газа, обрушениями горных пород, затоплениями горных выработок. Пожары – наиболее

распространенный вид (около 50 % от общего количества) аварий, которые наносят угольной отрасли существенный материальный ущерб и сопровождаются большим риском для жизни и здоровья людей [1].

Как известно, вода – самое дешевое средство для тушения пожаров. Питание противопожарного водоснабжения угольных шахт осуществляют от поверхностных пожарных резервуаров, которые заполняют от городских водопроводов [2].

Тем не менее, несмотря на все преимущества использования воды для пожаротушения, на планете с каждым годом расширяется дефицит пресной воды, который усугубляется повсеместно из-за негативного антропогенного воздействия [3]. Существующая тенденция нуждается в поиске эффективных решений устойчивого обеспечения водоснабжения населения и производства на глобальном и на государственном отраслевом уровне.

В угольных шахтах воду используют для производственных нужд и противопожарного водоснабжения. Шахты, имеющие большие притоки подземных вод, могут использовать их в качестве дополнительного (альтернативного, резервного) источника противопожарного водоснабжения, либо полностью перекрыть потребности в обеспечении воды для пожаротушения. Использование шахтной воды позволит решить несколько актуальных технических задач: снять нагрузку с водоотливного комплекса по выдаче ее на поверхность, уменьшить использование пресной воды с поверхностных источников, обеспечить запас пожарного водоснабжения непосредственно в горных выработках, что представляет актуальное направление прикладных научных исследований.

Анализ последних исследований и публикаций. Возможность использования водосборников водоотливных установок горизонтов в качестве резерва пожарного запаса воды для подземного пожаротушения предусмотрена в проектах противопожарной защиты угольных шахт [2]. Эти водосборники должны иметь постоянный контролируемый запас воды. Если запланировано использование насосов водоотливных установок для подачи воды в пожарно-оросительную сеть, их гидравлические характеристики должны соответствовать характеристике сети. На практике использование шахтных вод вызывает затруднения в связи с возможностью возникновения поломки одной из систем из-за сложности обеспечения их правильной работы и учета всех функциональных связей задействованного оборудования. Основным препятствием к использованию шахтных вод для пожарного водоснабжения шахт является их значительная минерализация, общая загрязненность взвешенными частицами угля и породы, высокая агрессивность в отношении материала труб и арматуры [4].

Перед использованием шахтной воды для целей пожаротушения необходимо выполнить ее очистку отстаиванием и фильтрованием от взвешенных частиц, например, путем использования фильтров [5, 6]. При использовании водоотлива для пожаротушения необходимо предусматривать устройство стационарных узлов переключения, защиту трубопроводов от последствий гидравлических ударов и учитывать работу насосных установок [7–10].

Выбор варианта подачи воды для пожаротушения с использованием водоотлива (рис.) должен быть определен исходя из горно-геологических условий, обеспечения нормативных значений давления и расхода в пожарных кранах и подтвержден результатами гидравлического расчета.

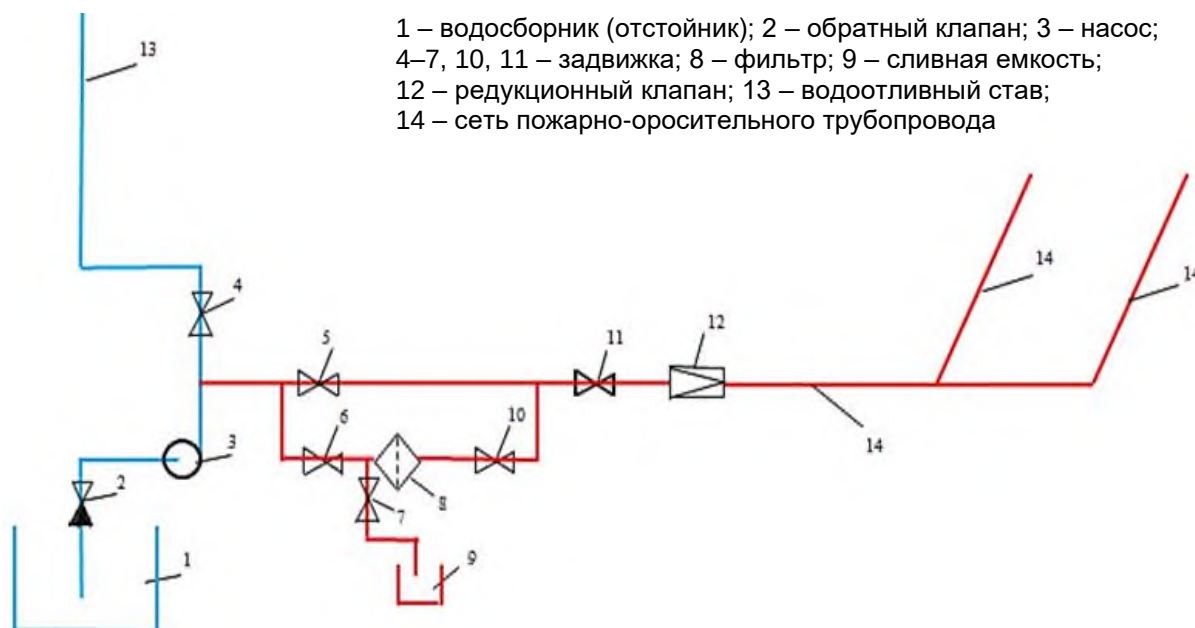


Рис. Принципиальная схема подачи воды от водоотлива по горизонту шахты с помощью насосного оборудования

В работе [11] проведено исследование гидравлических процессов при совместной работе шахтного водоотлива и противопожарного водоснабжения для определения в расчетных точках пожарно-оросительного трубопровода необходимого расхода воды для пожаротушения и величины гидравлического напора. Получены зависимости, позволяющие определять расход и напор воды в точках отбора воды на пожаротушение при совместной работе шахтного водоотлива и сети противопожарного водоснабжения горных выработок. Однако на величину напора у пожарного ствола влияют величины напора воды в точке подключения рукавной линии к трубопроводу (либо насосному оборудованию), параметры рукавной линии (диаметр и гидравлическое сопротивление внутренней поверхности пожарного рукава), количество соединительных пожарных головок, разность геодезических отметок начальной и конечной точек, диаметр ручного пожарного ствола, местные сопротивления, что представляет собой актуальную теоретическую задачу исследований при определении гидравлических параметров объединенной сети шахтного водоотлива и противопожарного водоснабжения.

Цель – обосновать гидравлические параметры в расчетных точках объединенной сети подземного водоотлива и противопожарного водоснабжения с учетом подачи воды по пожарным рукавам.

Результаты исследований. Подача воды к очагу пожара с использованием шахтного водоотлива осуществляется по схеме, приведенной на рис. Давление, необходимое для эффективного пожаротушения с использованием пожарных рукавов, необходимо определять при условии выполнения следующего неравенства:

$$H_{\text{тп}} - 1,05k \cdot l_p \cdot Q^2 + l_{\text{yp}} \cdot \sin \alpha - l_{\text{тп}} \cdot \sin \beta - H_c - H_{\text{гс}} \geq 0, \quad (1)$$

где $H_{\text{тп}}$ – напор воды в точке подключения рукавной линии, м;

k – удельное сопротивление пожарных рукавов, (с/л)²;

l_p – длина рукавной линии, м;

Q – расход воды по рукавной линии, л/с;

l_{yp} – длина рукавной линии, проложенной по подъему горной выработки, м;
 α – угол подъема горной выработки, в которой прокладывается рукавная линия, градус;

l_{np} – длина рукавной линии, проложенной по уклону выработки, м;
 β – угол уклона горной выработки, в которой прокладывается рукавная линия, градус;

H_c – напор воды перед пожарным стволом, обеспечивающий дальность полета струи с учетом сопротивления ручного пожарного ствола, м;

$H_{гс}$ – напор воды для преодоления сопротивления соединительных пожарных головок, м. Указанным значением можно пренебречь при прокладке линий на небольшие расстояния, либо прокладке пожарных рукавов длиной до 100 м.

Напор воды в точке подключения рукавной линии, $H_{тп}$, м, следует определять по формуле:

$$H_{тп} = H_{п} + H_{ф} + k_m \cdot \sum_{i=1}^n A_i \cdot l_i \cdot Q_n^2 + l_n \cdot \sin \gamma, \quad (2)$$

где $H_{п}$ – напор воды, необходимый для преодоления сопротивления в поворотах трубопровода, м;

$H_{ф}$ – напор воды, необходимый для преодоления сопротивления системы фильтров шахтной воды;

k_m – коэффициент, учитывающий потери давления на местные сопротивления и повороты в трубопроводе, принимают равным 1,1;

A_i – удельное гидравлическое сопротивление i -го участка трубопровода, определяют по таблице 1, c^2/m^6 ,

l_i – длина i -го участка трубопровода, м,

Q_n – нормативный расход воды для тушения пожара, m^3/c ;

l_n – протяженность трубопровода в наклонной горной выработке, м,

γ – угол наклона горной выработки, в которой проложен пожарно-оросительный трубопровод, градус.

Неравенство (1) должно удовлетворять еще одному условию, а именно – быть меньше разрывного давления пожарных рукавов $H_{рд}$, м, значение которого зависит от типа пожарного рукава:

$$0 \leq H_{п} - 1,05k \cdot l_p \cdot Q^2 + l_{yp} \cdot \sin \alpha - l_{np} \cdot \sin \beta - H_c - H_{гс} < H_{рд}. \quad (3)$$

Неравенство (3) не выполняется в следующих случаях:

– напор воды в точке подключения меньше необходимого для преодоления гидравлического сопротивления по всей длине рукавной линии;

– напор воды в точке подключения недостаточный для преодоления подъема горной выработки и обеспечения необходимых параметров струи для пожарного ствола;

– напор воды в точке подключения превышает разрывное давление пожарных рукавов;

– рукавная линия проложена на значительную длину по уклонной горной выработке, что приводит к нарастанию давления воды.

Недостаток давления воды в точке подключения можно компенсировать прокладкой рукавов в две или более параллельных линий. Расчёт напора воды, $H_{пс}$, м, для параллельной схемы соединения пожарных рукавов от единой точки

подключения с последующим соединением ветвей на один пожарный ствол необходимо рассчитывать по формуле:

$$H_{\text{пс}} = \sum_{i=1}^n \left(Q_i \cdot \sqrt{k_i \cdot l_i} \right)^2, \quad (4)$$

где l_i – протяженность i -й параллельной рукавной линии, м;

n – количество параллельных линий, 1;

k_i – удельное сопротивление i -й параллельной рукавной линии, (с/л)²;

Q_i – расход воды по i -й параллельной рукавной линии, л/с.

При прокладке в параллельных линиях пожарных рукавов одного диаметра удельные гидравлические сопротивления в них будут равны между собой ($k_1 = k_2 = \dots = k_n = k_{\text{п}}$), и расчет следует осуществлять по формуле:

$$H_{\text{пс}} = \frac{k_{\text{п}}}{n^2} \cdot Q^2 \cdot l_{\text{пл}}, \quad (5)$$

где $l_{\text{пл}}$ – протяженность всех параллельных ветвей рукавной линии, м.

Использование параллельной схемы прокладки пожарных рукавов приводит к увеличению их количества в два раза. Определять оптимальное количество пожарных рукавов следует исходя из неравенства

$$0 \leq H_{\text{общ}} - 1,05 Q^2 \left(k_{\text{пс}} \cdot l_{\text{пс}} - \frac{k_{\text{п}}}{n^2} \cdot l_{\text{пл}} \right) < H_{\text{рд}}, \quad (6)$$

где $H_{\text{общ}} = H_{\text{п}} - H_{\text{гс}} - H_{\text{с}} + l_{\text{ур}} \cdot \sin \alpha - l_{\text{пр}} \cdot \sin \beta$, м;

$k_{\text{пс}}$ – гидравлическое сопротивление участка пожарного рукава при последовательном соединении, (с/л)²;

$l_{\text{пс}}$ – протяженность участка рукавной линии при последовательном соединении, м, определяемая по формуле:

$$l_{\text{пс}} = l_{\text{р}} - l_{\text{пл}}. \quad (7)$$

При прокладке рукавных линий также возможен вариант возрастания давления за счет значительной длины по уклонной горной выработке. В этом случае снизить давление можно регулирующей арматурой или за счет увеличения удельного гидравлического сопротивления прокладываемых пожарных рукавов. Таким образом, необходимо выполнение неравенства

$$0 \leq H_{\text{общ}} - 1,05 k \cdot Q^2 \cdot (l_{\text{рд}} + m \cdot l_{\text{уд}}) < H_{\text{рд}}, \quad (8)$$

где $l_{\text{рд}}$ – протяженность прокладываемых пожарных рукавов с расчетным гидравлическим сопротивлением, м;

m – коэффициент гидравлического сопротивления, 1;

$l_{\text{уд}}$ – протяженность прокладываемых пожарных рукавов с большим гидравлическим сопротивлением, м.

$$l_{\text{уд}} = l_{\text{р}} - l_{\text{рд}}. \quad (9)$$

Дальность полета пожарной струи, $l_{\text{с}}$, м, может быть определена по эмпирической формуле из работы [12]:

$$l_c = 0,415 \sqrt[3]{\delta \cdot d \cdot H_{\text{вн}}^2}, \quad (10)$$

где δ – угол наклона пожарного ствола к горизонту, градус;

d – диаметр насадка, м;

$H_{\text{вн}}$ – напор воды на выходе из насадка, м.

При определении дальности полета пожарной струи необходимо учитывать, что ее высота, зависящая от угла наклона пожарного ствола к горизонту, ограничена высотой горной выработки:

$$H_{\text{в.п}} = \frac{H_{\text{ун}} \cdot \sin 2\delta}{1 + \frac{k}{d} \cdot H_{\text{ун}}}, \quad (11)$$

где $H_{\text{в.п}}$ – максимальное значение высоты подъема струи, которое должно быть приравнено к высоте горной выработки, м;

$H_{\text{ун}}$ – напор воды на входе в насадок, м;

k – коэффициент сопротивления трению струи воды в воздухе, 1

$$k = \frac{0,25}{d + (0,1 \cdot d)^3}. \quad (12)$$

Значение угла наклона пожарного ствола к горизонту, обеспечивающего наибольшую дальность подачи струи воды, следует определять по формуле:

$$\delta = \arcsin \left(\frac{H_{\text{в.п}} \left(1 + \frac{k}{d} \cdot H_{\text{ун}} \right)}{H_{\text{ун}}} \right) / 2. \quad (13)$$

Результаты расчета рукавных линий необходимо учитывать при определении гидравлических параметров объединенной сети пожарного и водоотливного комплексов угольных шахт при ведении горноспасательных работ по тушению подземных пожаров.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Процессы, протекающие при совместной работе шахтного водоотлива и противопожарного водоснабжения, представляют собой сложное сочетание различных гидравлических параметров. Одновременно необходимо учитывать возможность гидравлического удара, возникновения разрыва струи, особенности совместной работы насосного оборудования и большой протяженности сети шахтных пожарно-оросительных трубопроводов.

Кроме того, из-за ведения горных работ на нескольких горизонтах, существует большая вариативность маршрутов подачи воды. Выбор того или иного варианта следует осуществлять исходя из горно-геологических условий, обеспечения нормативных значений давления и расхода воды в пожарных кранах.

Указанные особенности необходимо учитывать при расчете гидравлических параметров объединенной сети шахтного водоотлива и противопожарного водоснабжения.

Перспективное направление дальнейшей научной работы – теоретические и экспериментальные исследования фильтрационных процессов в сети пожарно-оросительного водоснабжения угольных шахт.

Список литературы / References

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

Fedorenko, E. I., Kobylkin, S. S. [The problem of underground fires and their extinguishing at great depths in coal mines]. Mining information and Analytical Bulletin, 2011, no. 8, pp. 197-207. (In Russian)

2. Противопожарная защита угольных шахт: Сборник документов. / А. И. Субботин [и др.]. – М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. – 144 с.

Subbotin, A. I., Chigrin, V. D., Gusev, E. I., Obidov, S. V., Shalaev, V. S., Vinogradov, I. N., Krylov, V. A., Pecherkin, A. S. *Protivopozharnaya zashchita ugolnykh shakht* [Fire protection of coal mines: A collection of documents]. State Unitary Enterprise Scientific and Technical Center for Industrial Safety of Gosgortekhnadzor of Russia Publ., 2002, 144 p. (In Russian)

3. Гусев, Н. Н. Эколого-экономическая оценка вовлечения шахтных вод в хозяйственный оборот / Н. Н. Гусев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 7. – С. 245–248.

Gusev, N. N. [Ecological and economic assessment of the involvement of mine waters in economic turnover]. Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal), 2010, no. 7, pp. 245-248. (In Russian)

4. Лунева, О. В. Решение проблемы деминерализации шахтных вод – альтернативный подход / О. В. Лунева // Донбасс-2020: Перспективы развития глазами молодых ученых. – Донецк, ДонНТУ, 2012. – С. 96–100.

Luneva, O. V. [Solving the problem of demineralization of mine waters is an alternative approach]. *Donbass-2020: Perspektivy razvitiya glazami molodykh uchenykh*, Donetsk, DonNTU Publ., 2012, pp. 96-100. (In Russian)

5. Высоцкий, С. П. Комбинированный процесс микрофильтрации и обратного осмоса для очистки шахтных вод / С. П. Высоцкий, А. А. Печенога // Вести автомобильно-дорожного института. – 2020. – № 2 (33). – С. 62–67.

Vysockiy, S. P., Pechenoga, A. A. [Combined microfiltration and reverse osmosis process for mine water treatment]. Bulletin of the automobile and road institute, 2020, no. 2 (33), pp. 62-67. (In Russian)

6. Бурдова, М. Г. Методические положения расчета конструктивных параметров фильтра-дезинфектанта для системы очистки шахтных подземных вод / М. Г. Бурдова, В. В. Левковская // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2018. – № 1. – С. 3–11.

Burdova, M. G., Levkovskaya, V. V. [Designing of filter-disinfectants on the basis of the studied researches]. *Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle*, 2018, no. 1, pp. 3-11. (In Russian)

7. Об использовании системы водоотлива для тушения пожаров в угольных шахтах при ведении горноспасательных работ / А. В. Агарков [и др.] // Инновационные перспективы Донбасса: сборник научных трудов 11-й Международной научно-практической конференции. – Донецк: ДонНТУ. – 2025. – Т. 1. – С. 13–18.

Agarkov, A. V., Kavera, A. L., Polituchiy, D. A., Buryak, D. S., Moskvina, I. I., Vetkina, V. V. *Ob ispolzovanii sistemy vodootliva dlya tusheniya pozharov v ugolnykh shakhtakh pri vedenii gornospasatelnykh rabot* [On the use of a drainage system for extinguishing fires in coal mines during mining rescue operations]. Innovative perspectives of Donbass: collection of articles of the 11th International Scientific and Practical Conference. Donetsk: DonNTU Publ., 2025, no. 1, pp. 13-18. (In Russian)

8. Буряк, Д. С. Использование шахтного водоотлива для противопожарного водоснабжения / Д. С. Буряк, А. В. Осадчий, Г. Н. Земляк // Проблемы техносферной

безопасности. Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций: сборник материалов I Научно-практической конференции с международным участием. – Донецк: ФГКУ «ННИ «Респиратор» МЧС России». – 2025. – С. 21–22.

Buryak, D. S., Osadchiy, A. V., Zemlyak, G. N. *Ispolzovanie shakhtnogo vodootliva dlya protivopozharnogo vodosnabzheniya* [The use of mine drainage for fire-fighting water supply]. Problems of technosphere safety. Elimination of consequences of emergency situations: collection of materials of the First Scientific and Practical conference with international participation. Donetsk: FSI NII «Respirator» EMERCOM of Russia Publ., 2025, pp. 21-22. (In Russian)

9. Бойко, Е. Г. Причины нерациональной работы насосных установок горно-металлургического комплекса и пути их решения / Е. Г. Бойко, Ю. Г. Осадчук // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 10. – С. 319–323.

Boyko, E. G., Osadchuk, Yu. G. [The reasons for the irrational operation of pumping units of the mining and metallurgical complex and ways to solve them]. Mining informational and analytical bulletin, 2006, no. 10, pp. 319-323. (In Russian)

10. Калиниченко, Р. А. Способы защиты трубопровода от последствий гидравлического удара / Р. А. Калиниченко // Международный академический вестник. – 2018. – № 5 (25). – С. 65–68.

Kalinichenko, R. A. *Sposoby zashchity truboprovoda ot posledstviy gidravlicheskogo udara* [Ways to protect pipelines from the effects of hydraulic shock]. *Mezhdunarodnyy akademicheskij vestnik*, 2018, № 5 (25), pp. 65-68. (In Russian)

11. Обеспечение нормативных гидравлических параметров противопожарного водоснабжения с использованием шахтного водоотлива / А. В. Агарков, Д. А. Политучий, Д. С. Буряк, Д. Ф. Балта // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 1 (63). – С. 73–82.

Agarkov, A. V., Polituchy, D. A., Buryak, D. S., Balta, D. F. [Provision of standard hydraulic parameters of fire-fighting water supply using mine drainage]. Scientific bulletin of the NII «Respirator», 2026, № 1 (63), pp. 73-82. (In Russian)

12. Буряк, Д. С. Обоснование гидравлических параметров рукавных линий / Д. С. Буряк, Д. Ф. Балта // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2019. – № 1 (2). – С. 33–36.

Buryak, D. S., Balta, D. F. [Justification of hydraulic parameters of hose lines]. Fire and technospheric safety: problems and ways of improvement 2019, № 1 (2), pp. 33-36. (In Russian)

Дата поступления рукописи 25.06.2026

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук Е. А. Головченко

Aleksandr Vladislavovich Agarkov, Cand. of Tech. Sci., Deputy Head of the Institute;

e-mail: aleksander_agarkov@mail.ru

Dmitry Alekseevich Polituchy, Head of Department; e-mail: poletuchi@mail.ru

Dmitry Sergeevich Buryak, Senior Researcher; e-mail: buryak_ds@mail.ru

Federal State Institution «The Scientific Research Institute «Respirator» of EMERCOM of Russia»

283048, Donetsk, Artyoma St., 157. Phone: +7 (856) 252-78-39

Dmitry Sergeevich Evteev, Senior Lecturer; e-mail: d.evteev@academygps.ru

Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia

129366, Moscow, Borisa Galushkina St., 4. Phone: +7 (495) 617-27-27

STUDY OF HYDRAULIC PARAMETERS OF THE COMBINED MINE DRAINAGE AND FIRE-FIGHTING WATER SUPPLY NETWORK

Purpose. Study of hydraulic parameters of a combined underground drainage and firefighting water supply network, taking into account water supply through fire hoses during mine rescue operations in coal mines.

Methods. Analytical and theoretical research methods were used, with results processed using software packages.

Results. A study was conducted on the combined operation of a mine drainage system and a firefighting water supply network in mine workings for fire containment and extinguishing.

Scientific novelty. A hose line calculation method has been developed that differs from existing methods by taking into account the water pressure at the hose line connection point to the pipeline (or pumping equipment), hose line parameters (diameter and hydraulic resistance of the inner surface of the fire hose), the number of connecting fire nozzles, differences in geodetic elevations between the start and end points, the diameter of the hand-held fire nozzle, and local resistance. The developed methodology should be used to determine the hydraulic parameters of a combined mine drainage and firefighting water supply network (fire and drainage systems).

Practical value. The research results will improve the safety of mine rescuers and the effectiveness of fire extinguishing in mines using two water supply systems (a fire-fighting system and a drainage system).

Keywords: *coal mine; emergency fire area; mine workings; underground fires; mine drainage; fire-fighting water supply; hydraulic calculation.*

For citation. Agarkov A. V., Polituchiy D. A., Buryak D. S., Evteev D. S. Study of hydraulic parameters of the combined mine drainage and fire-fighting water supply network. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 39-47. EDN ARCSI

II. Безопасность труда

УДК 622.81:[622.868.42:622.864.42]:001.891.53

Владимир Григорьевич Агеев, д-р техн. наук, вед. научн. сотр.; e-mail: v.ageev@res.80.mchs.gov.ru
Виктория Валентиновна Лебедева, канд. техн. наук, нач. отд.; e-mail: v.lebedeva@res.80.mchs.gov.ru
Олег Владимирович Храпоненко, ст. науч. сотр.; e-mail: o.hraponenko@res.80.mchs.gov.ru
Оксана Николаевна Щербакова, науч. сотр.; e-mail: o.shcherbakova@res.80.mchs.gov.ru
Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»
283048, г. Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 252-78-55

КИНЕТИКА НАБОРА РАННЕЙ ПРОЧНОСТИ АРМИРОВАННОГО БАЗАЛЬТОВЫМ ВОЛОКНОМ БЫСТРОТВЕРДЕЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

Цель. Исследование кинетики роста прочности армированного базальтовым фиброволокном быстротвердеющего материала для возведения в шахтах взрывоустойчивых перемычек в ранние сроки твердения.

Методы. Стандартные методы определения прочности при изгибе и сжатии.

Результаты. Исследована кинетика роста прочности армированного базальтовым фиброволокном материала с массовым содержанием фибры в диапазоне концентраций 0,1...0,2 % от массы раствора в течение 3...6 ч твердения. Экспериментально обосновано рациональное содержание базальтового фиброволокна в компонентном составе цементно-шлакового материала, обеспечивающее эффективность объемного дисперсного армирования, улучшение структуры и повышение прочностных характеристик отвержденного материала. Установлено преимущественное влияние базальтовой фибры на рост предела прочности при изгибе, чем при сжатии за 3...6 ч твердения армированных составов.

Научная новизна. Впервые получены зависимости, характеризующие изменение прочности при изгибе и сжатии быстротвердеющего материала с различным содержанием базальтового фиброволокна от времени твердения экспериментальных образцов.

Практическая значимость. Результаты исследований имеют важное практическое значение для создания быстротвердеющего материала с ранним набором механической прочности для возведения в шахтах взрывоустойчивых перемычек. Представленный в работе подход можно использовать для экспериментальной оценки других армирующих добавок, например, полипропиленового фиброволокна.

Ключевые слова: армирующая добавка; взрывоустойчивая перемычка; время твердения; водо-вяжущее отношение; ранняя прочность; цементно-шлаковый состав.

Для цитирования: Агеев В.Г., Лебедева В.В., Храпоненко О.В., Щербакова О.Н. Кинетика набора ранней прочности армированного базальтовым волокном быстротвердеющего материала // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 3 (63). – С. 48–53. – EDN BAGVHZ

Постановка проблемы. Для повышения сопротивления шахтных взрывоустойчивых перемычек изгибу и растяжению применяют дисперсное армирование материала перемычки стекловолокном, базальтовым волокном, полимерами, металлом и другими добавками [1]. В отличие от традиционной металлической арматуры, эффективность дисперсного армирования базальтовой фиброй обеспечивается созданием трехмерного пространственного каркаса и высоким сцеплением волокна с цементной матрицей [2].

Вместе с тем, существует проблема снижения прочностных характеристик армированного материала в ранние сроки его твердения, обусловленная потерей стойкости базальтовых волокон в условиях агрессивной щелочной среды в процессе гидратации цементного вяжущего.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [3] показано, что наибольший прирост прочности при изгибе 22–24 % и сжатии 9–18 %, как в ранние, так и в поздние сроки твердения, обеспечивает легкий бетон на пористом заполнителе с 2,5 %-ным содержанием модифицированной базальтовой микрофибры. Изучение микроструктуры фибробетона показало, что волокно фибры сохраняет свою поверхность и не теряет армирующих свойств. В обзоре [4] приведены данные о положительном влиянии базальтового волокна на прочностные свойства торкретбетона на основе цементного вяжущего. Опубликованы данные [5] о наиболее эффективном применении базальтовой фибры в количестве 4,5 % и крупного заполнителя с содержанием керамзита по отношению к граниту по объему в количестве 60 %. Эффективность дисперсного армирования базальтовым фиброволокном во многом зависит от вида портландцемента, модифицирующих добавок и области применения армированного материала.

Цель. Исследование кинетики набора прочности армированного базальтовым фиброволокном быстротвердеющего цементно-шлакового материала для возведения в шахтах взрывоустойчивых перемычек в ранние сроки его твердения.

Методика эксперимента. В настоящем исследовании за базовый взят цементно-шлаковый состав [6], со свойствами которого сравнивали прочностные параметры экспериментальных составов с различным массовым содержанием базальтового фиброволокна.

При экспериментальных исследованиях использованы материалы:

- портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108-2020) производства ООО «ПИК ЦЕМЕНТ+», ДНР, пгт Ново-Амвросиевское,
- отвалный металлургический шлак Донецкого металлургического завода,
- активная алюминатная добавка,
- пластифицирующая добавка на основе эфиров поликарбоксилатов,
- ускоритель процесса раннего твердения,
- фибра базальтовая армирующая, диаметр волокна 13 мкм, длина $12 \pm 1,5$ мм.

Экспериментальные образцы готовили с массовым содержанием базальтового фиброволокна в сухой смеси – 0 (контрольный образец); 0,1; 0,15 и 0,2 % от массы раствора. Относительно низкий диапазон содержания базальтового волокна в составах принят для исключения агрегатирования (комкования), образования пустот и для более равномерного распределения тонких волокон в объеме цементно-шлакового раствора при сохранении водопотребности растворной смеси.

На основании результатов предыдущих исследований значение оптимального водо-вяжущего отношения принято равным 0,37 единиц [6, 7].

Сохранение на минимальном уровне водо-вяжущего отношения способствует существенному увеличению плотности и прочности затвердевшего армированного материала. Из цементно-шлаковых растворных смесей формовали образцы размером $40 \times 40 \times 160$ мм, которые твердели в нормальных условиях в течение 3, 4, 5 и 6 ч. Выбор исследуемого интервала времени твердения образцов обусловлен реальными технологическими возможностями возведения перемычки в шахте. После расформировки образцов определяли предел прочности при изгибе, затем прочность полученных половинок-балочек при сжатии по действующим стандартным методикам¹.

¹ ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии»

Результаты исследований позволили построить кинетические кривые, показывающие изменение ранней прочности при изгибе за 3...6 ч твердения экспериментальных образцов (рис. 1).

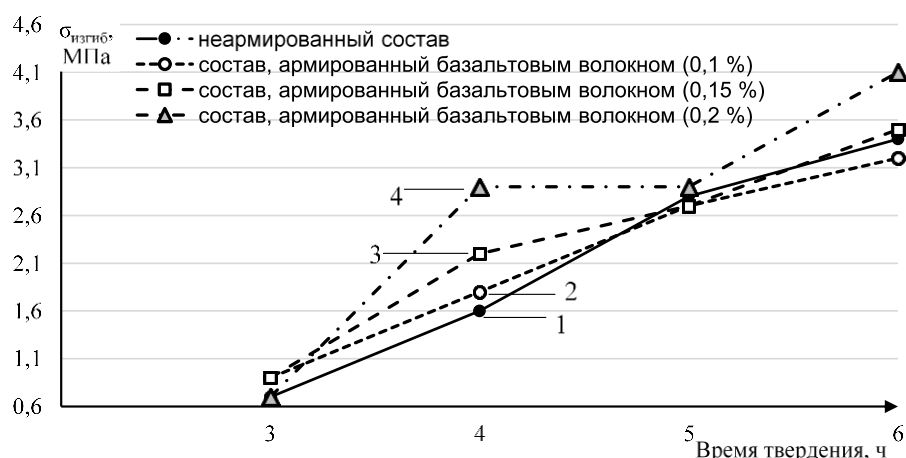


Рис. 1. Кинетические кривые набора ранней прочности при изгибе после 3, 4, 5 и 6 ч твердения образцов составов

Уравнения зависимости $\sigma_{\text{изгиб}}$ от времени твердения образцов τ приведены в табл. 1. Полученные для всех зависимостей близкие к единице значения коэффициента корреляции (r) свидетельствуют о тесной прямой корреляционной связи между результативным (прочность при изгибе) и факторным (время твердения образца) признаками.

Таблица 1

Уравнения зависимости $\sigma_{\text{изгиб}}$ от времени твердения образцов

Номер кинетической кривой (рис. 1)	Уравнение зависимости	Коэффициент корреляции r
1	$\sigma_{\text{изгиб}} = 0,93\tau - 1,13$	0,99
2	$\sigma_{\text{изгиб}} = 0,78\tau - 0,58$	0,99
3	$\sigma_{\text{изгиб}} = 0,96\tau - 0,66$	0,93
4	$\sigma_{\text{изгиб}} = 0,89\tau - 0,84$	0,97

На рис. 2 представлены кинетические кривые, демонстрирующие изменение прочности при сжатии исследуемых образцов со временем твердения.

Полученные уравнения зависимости $\sigma_{\text{сжатие}}$ от времени твердения образцов τ представлены в табл. 2. Высокое значение $r = 0,99$ для аналитических зависимостей (рис. 2) свидетельствует о тесной прямой корреляционной связи между результативным (прочность при сжатии) и факторным (время твердения образца) признаками.

Сильная статистическая взаимосвязь признаков (см. табл. 1 и 2) в значительной степени определяет изменение прочности материала от времени твердения.

Следует отметить, что для армированных составов увеличение содержания базальтовой фибры приводит в большей степени к росту пределов прочности при изгибе, чем при сжатии, за 3...6 ч твердения образцов. Преимущественный рост прочности при изгибе по сравнению со сжатием связан с особенностями физических

свойств базальтовой фибры, прежде всего, высокой силой адгезии к вяжущей системе и механизмом восприятия воздействующих нагрузок при изгибе и сжатии.

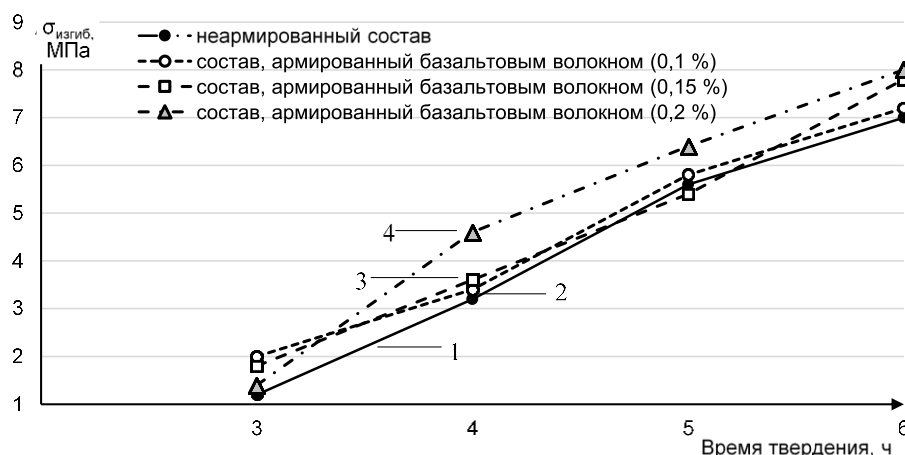


Рис. 2. Кинетические кривые набора ранней прочности при сжатии после 3, 4, 5 и 6 ч твердения образцов составов

Таблица 2

Уравнения зависимости $\sigma_{\text{сжатие}}$ от времени твердения образцов

Номер кинетической кривой (рис. 2)	Уравнение зависимости	Коэффициент корреляции r
1	$\sigma_{\text{сжатие}} = 1,98\tau - 0,7$	0,99
2	$\sigma_{\text{сжатие}} = 1,8\tau + 0,1$	
3	$\sigma_{\text{сжатие}} = 2,04\tau + 0,1$	
4	$\sigma_{\text{сжатие}} = 2,1\tau - 0,7$	

За первые 3 ч твердения все экспериментальные составы одинаково не набрали высокой прочности при изгибе и достаточной прочности при сжатии (не менее 3 МПа). Наиболее активно гидратация и структурирование происходят в первые 4 ч после затворения сухой смеси. Затем скорость этих процессов постепенно снижается. Такой механизм твердения составов можно объяснить высокой скоростью протекающих в материале химических реакций в первые 4 ч твердения и последующим индукционным периодом, когда скорость химических процессов снижается.

Среди армированных составов для образцов с 0,1 масс. % базальтового волокна установлены самые низкие прочностные характеристики. Наиболее высокой прочностью отличается состав, армированный базальтовым волокном в количестве 0,2 %: его прочность при изгибе увеличилась на 20,6 %, при сжатии – на 14,3 % за 6 ч твердения по сравнению с образцами без армирования. Рост прочностных показателей с двукратным увеличением содержания базальтового фиброволокна подтверждает эффективность объемного дисперсного армирования и улучшение структуры материала.

Полученные результаты экспериментальных исследований по влиянию базальтовой фибры на прочностные характеристики цементно-шлакового материала согласуются с результатами других работ, посвященных аналогичным исследованиям [8–10].

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Результаты экспериментальных исследований показали, что формирование и начало накопления ранней прочности в процессе гидратации цементно-шлакового вяжущего можно считать после 4-часового твердения материала. В исследованном диапазоне массовых концентраций наиболее рациональным содержанием базальтового фиброволокна в цементно-шлаковом растворе можно считать 0,2 % от массы раствора при сохранении оптимального водо-вяжущего отношения.

Перспективное направление дальнейших исследований заключается в изучении влияния содержания полипропиленового фиброволокна на кинетику набора ранней прочности быстротвердеющего материала для возведения в шахтах взрывоустойчивых перемычек.

Список литературы / References

1. Кирьян, А. П. Напряженно-деформированное состояние армированной фиброволокном взрывоустойчивой перемычки в угольной шахте / А. П. Кирьян, Г. И. Пефтибай, Н. А. Галухин // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2025. – №1(73). – С. 8–20.

Kiryan, A. P., Peftibay G. I., Galukhin N. A. [Stress-strain state of a fiber-reinforced explosion-resistant bulkhead in a coal mine]. Problems of technosphere risk management, 2025, no. 1 (73), pp. 8-20. (In Russian)

2. Павлова, И. П. Стойкость базальтового фиброволокна в щелочной среде гидратирующих цементных систем / И. П. Павлова, К. Ю. Беломесова // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2022. – № 8. – С. 81–88.

Pavlova, I. P., Belomesova, K. Yu. [Resistance of basalt fibre in the alkaline environment of hydrating cement systems]. Herald of Polotsk state university. Series F. Civil engineering. Applied sciences, 2022, no. 8, pp. 81-88. (In Russian)

3. Бастрыгина, С. В. Использование базальтовой микрофибры в легком бетоне повышенной прочности / С. В. Бастрыгина, Р. В. Конохов, А. Т. Беляевский // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2021. – № 18. – С. 48–52.

Bastrygina, S. V., Konokhov, R. V., Belyaevsky, A. T. [The use of basalt microfiber in lightweight concrete with increased strength]. Proceedings of the Fersman Scientific Session of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, 2021, no. 18, pp. 48-52. (In Russian)

4. Liu, Q., Song, P., Li, L., Wang, Y., Wang, X., Fang, J. The effect of basalt fiber addition on cement concrete: A review focused on basalt fiber shotcrete. Front. Mater. 9:1048228. DOI: 10.3389/fmats.2022.1048228. (In English)

5. Алексеев, К. Н. Некоторые особенности влияния базальтовой фибры (Æ13 МКМ) на прочностные и энергетические параметры разрушения цементного камня / К. Н. Алексеев, А. С. Курилко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S30. – С. 349–355.

Alekseyev, K. N., Kurilko, A. S. [Some features of the effect of basalt fiber (ø13mkm) on the strength and energy parameters of the destruction of the cement stone]. Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal), 2015, no. S30, pp. 349-355. (In Russian)

6. Агеев, В. Г. Состав для возведения шахтных взрывоустойчивых перемычек аддитивными технологиями / В. Г. Агеев, В. В. Лебедева, О. В. Храпоненко // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026 – № 1 (63). – С. 66–72.

Ageev, V. G., Lebedeva, V. V., Khraponenko, O. V. [Composition for the construction of mine explosion-resistant lintels using additive technologies]. Scientific bulletin of the NII «Respirator», 2026, no. 1(63), pp. 66-72. (In Russian)

7. Лебедева, В. В. Влияние метакеолина на свойства быстротвердеющего материала взрывоустойчивых перемычек / В. В. Лебедева, О. В. Храпоненко, О. Н. Щербакова // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 4 (62). – С. 58–63. – EDN PHMDUK

Lebedeva, V. V., Khraponenko, O. V., Shcherbakova O.N. [The effect of metakaolin on the properties of fast-hardening explosive-resistant laps]. Scientific bulletin of the NII «Respirator», 2025, no. 4(62), pp. 58-63. (In Russian)

8. Li, Y., Zhang, J., He, Y., Huang, G., Li, J., Niu, Z., Gao, B. A review on durability of basalt fiber reinforced concrete // Composites Science and Technology. 2022. Vol. 225. 109519. DOI: 10.1016/j.compscitech.2022.109519. (In English)

9. Dilbas, H., Çakır, Ö. Influence of basalt fiber on physical and mechanical properties of treated recycled aggregate concrete // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 254. 119216. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119216. (In English)

10. Агамов, Р. Э. Высокопрочные фибробетоны в конструкциях общестроительного и специального назначения / Р. Э. Агамов, М. А. Гончарова, А. Р. Пачин // Строительные материалы. – 2023. – № 1–2. – С. 39–43.

Agamov, R. E., Goncharova, M. A., Pachin, A. R. [High-strength fiber-reinforced concretes in general construction and special-purpose structures]. Construction Materials, 2023, no. 1–2, pp. 39-43. (In Russian)

Дата поступления рукописи 10.06.2026

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

Vladimir Grigorievich Ageev, Dr. of Tech. Sci., Leading Researcher; e-mail: v.ageev@res.80.mchs.gov.ru
Victoria Valentinovna Lebedeva, Cand. of Tech. Sci., Head of Dep; e-mail: v.lebedeva@res.80.mchs.gov.ru
Oleg Vladimirovich Khraponenko, Senior Researcher; e-mail: o.khraponenko@res.80.mchs.gov.ru
Oksana Nikolaevna Shcherbakova, Research Associate; e-mail: o.shcherbakova@res.80.mchs.gov.ru
Federal State Institution «The Scientific Research Institute «Respirator» EMERCOM of Russia»
283048, Donetsk, Artyoma St., 157. Phone: +7 (856) 252-78-55

KINETICS OF EARLY STRENGTH GROWTH OF FAST-SETTING BASALT FIBER-REINFORCED MATERIAL

Objective. Research on the kinetics of strength growth of a rapid-hardening material reinforced with basalt fiberglass for the construction of explosion-resistant lintels in mines during early hardening.

Results. The kinetics of the growth of the strength of the material reinforced with basalt fiberglass with a mass content of fiber in the range of concentrations of 0.1...0.2 % of the mass of the solution during 3...6 hours of hardening is investigated. The rational content of basalt fiberglass in the component composition of the cement-slag material is experimentally substantiated, which ensures the effectiveness of volumetric dispersed reinforcement, improves the structure and increases the strength characteristics of the hardened material. The predominant effect of basalt fiber on the increase in the bending strength limit compared to the compression strength limit during 3–6 hours of hardening of reinforced compositions has been established.

Scientific novelty. For the first time, the dependences characterizing the change in bending and compression strength of a fast-hardening material with different contents of basalt fiberglass during 3, 4, 5 and 6 hours of its hardening were obtained.

Practical significance. The research results are of great practical importance for the creation of a fast-hardening material with early mechanical strength for the construction of explosion-resistant lintels in mines. The approach presented in this work can be used for the experimental evaluation of other reinforcing additives, such as polypropylene fiber.

Keywords: reinforcing additive; explosion-resistant jumper; hardening time; water-binding ratio; early strength; cement-slag composition.

For citation: Ageev V. G., Lebedeva V. V., Khraponenko O. V., Shcherbakova O. N. Kinetics of early strength development of rapid-hardening material reinforced with basalt fiber. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 48-53. EDN BAGVHZ

УДК 622.867.324:62-974

Валерий Владимирович Мамаев, д-р техн. наук, гл. науч. сотр.; e-mail: v.mamaev@res.80.mchs.gov.ru

Руслан Сергеевич Плетенецкий, ст. науч. сотр.; e-mail: r.pleteneckiy@res.80.mchs.gov.ru

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

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

283048, г. Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 352-78-01

Денис Александрович Плотников, канд. техн. наук, доцент; e-mail: d.a.plotnikov@donnasa.ru

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,

286123, г. Макеевка, р-н Червоногвардейский, ул. Державина, д. 2. Тел. +7 (949) 403-53-70

САМОСПАСАТЕЛЬ ИЗОЛИРУЮЩИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Цель. Исследование путей совершенствования самоспасателей с химически связанным кислородом для возможности их применения в условиях Арктической зоны.

Методы. Аналитические методы исследования особенностей конструкции дыхательных аппаратов (шахтных самоспасателей), эксплуатируемых в Арктической зоне, их качественных и количественных показателей.

Результаты. Исследованы особенности климатических условий и технических характеристик дыхательных аппаратов (самоспасателей), применяемых в условиях Арктической зоны.

Научная новизна. Определены пути совершенствования базовой модели изолирующего самоспасателя для эксплуатации в условиях Арктической зоны при температурах ниже -20°C .

Практическая значимость. Полученные результаты исследований могут быть использованы для разработки новых моделей самоспасателей, обеспечивающих безопасность труда горняков при низких отрицательных температурах.

Ключевые слова: дыхательный аппарат; средства индивидуальной защиты органов дыхания; самоспасатель; регенерация; сорбция; хемосорбция; регенеративный продукт; кислородсодержащий продукт; Арктическая зона; отрицательные температуры.

Для цитирования: Мамаев В. В., Плетенецкий Р. С., Зборщик Л. А., Плотников Д. А. Самоспасатель изолирующий для условий Арктической зоны // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 3 (63). – С. 54–62. EDN FRTLYT

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Одной из основных задач обеспечения экономической безопасности и устойчивого развития России является дальнейшее развитие нефтегазовой и горнорудной промышленности, в том числе в Арктической зоне, где сосредоточены огромные запасы энергетического сырья. Климат этих регионов характеризуется большой продолжительностью зимнего периода с чрезвычайно низкими отрицательными температурами воздуха и высокой межсуточной и внутрисуточной его изменчивостью. Климатические условия характеризуются как крайне жесткие, поскольку в зимний период температура воздуха опускается до -50°C , а в летний доходит до $+35^{\circ}\text{C}$. Наличие многолетней мерзлоты также усложняет деятельность человека [1].

На районы многолетней мерзлоты (криолитозону) в Российской Федерации приходится более 50 % всей ее территории. В этих районах сосредоточена подавляющая часть разведанных и прогнозных запасов важнейших полезных

ископаемых: золото, алмазы, олово, вольфрам, медь, никель, сурьма, ртуть, пьезооптическое сырье и других элементов [2]. Горнопромышленное освоение этих месторождений связано с проблемой эффективности и безопасности ведения подземных горных работ, на которые оказывает влияние многолетняя мерзлота.

При этом эксплуатация шахт и рудников, особенно угольных, сопряжена с высоким риском возникновения аварий, которые сопровождаются подземными пожарами, выбросами газа и угольной пыли, т.е. созданием непригодной для дыхания среды. Подземные пожары составляют около 66 % от общего числа аварийных ситуаций, приводящих к нарушению режима работы предприятия, серьезному материальному ущербу и, самое главное, угрозе здоровью и жизни людей [3, 4].

Основным средством самоспасения, которым должен воспользоваться горнорабочий в таких случаях, является шахтный изолирующий самоспасатель с химически связанным кислородом, обладающий рядом преимуществ [5] в сравнении с аппаратами со сжатым кислородом, а именно:

- экономное расходование запаса кислорода в зависимости от энергозатрат включенного в самоспасатель человека;
- простота и надежность конструкции, технологическая приспособленность к массовому производству;
- простота в эксплуатации, отсутствие сложных проверок готовности к применению, т. к. критериями годности аппарата являются его герметичность и срок службы.

Изолирующие шахтные самоспасатели типа ХК производят на основе использования химических продуктов с высоким содержанием кислорода (надпероксид калия KO_2). Принцип действия самоспасателя основан на поглощении кислородсодержащим продуктом диоксида углерода и паров влаги из выдыхаемой газовой смеси и выделении им кислорода.

Влияние условий труда на производственные показатели ставит охрану труда и обеспечение промышленной безопасности в ряд важных составляющих комплекса социальных и производственных мероприятий.

Поэтому определение возможности применения стандартного шахтного самоспасателя для условий Арктической зоны либо необходимости создания специального аппарата, способного нормально функционировать в условиях Крайнего Севера – актуальная задача, решение которой позволит обеспечить безопасные условия труда.

Анализ последних исследований и публикаций. На горнорудных предприятиях Арктической зоны один из основных неблагоприятных факторов, воздействующих на работников, – микроклимат рабочей зоны. На параметры микроклимата влияние могут оказывать многие факторы, основным из которых являются климатические условия района, в котором расположено предприятие, глубины залегания и удаления выработок от воздухоподающих стволов. Если на предприятиях, которые расположены в районах с положительными температурами горных пород, температуры воздуха на рабочих местах колеблются от +2,6 до +13,5 °C, то на горных предприятиях Арктической зоны, где работы ведутся в зоне мёрзлых горных пород, наблюдается противоположная картина. В зависимости от глубины ведения горных работ на рудниках температура воздуха на рабочих местах на разных горизонтах колеблется от –12 °C до +(3–5) °C. На шахтах и рудниках, выполняющих работы в зоне мёрзлых горных пород,

температура воздуха круглогодично отрицательная, достигая значений $-(20-30)^\circ\text{C}$ в неглубоких шахтах в зимнее время [6].

В работе [2] приведены геокриологические условия и тепловой режим подземных горных выработок на основных месторождениях Сибири и северо-восточных регионов России. Для группы месторождений, полностью расположенных в криолитозоне, характерны круглогодичные отрицательные температуры шахтного воздуха $-(1-10)^\circ\text{C}$.

Согласно данным [7], в зимний период за счет подогрева атмосферного воздуха, подаваемого в шахту, температура воздуха в горных выработках в соответствии с требованиями не опускается ниже -20°C (рис.).

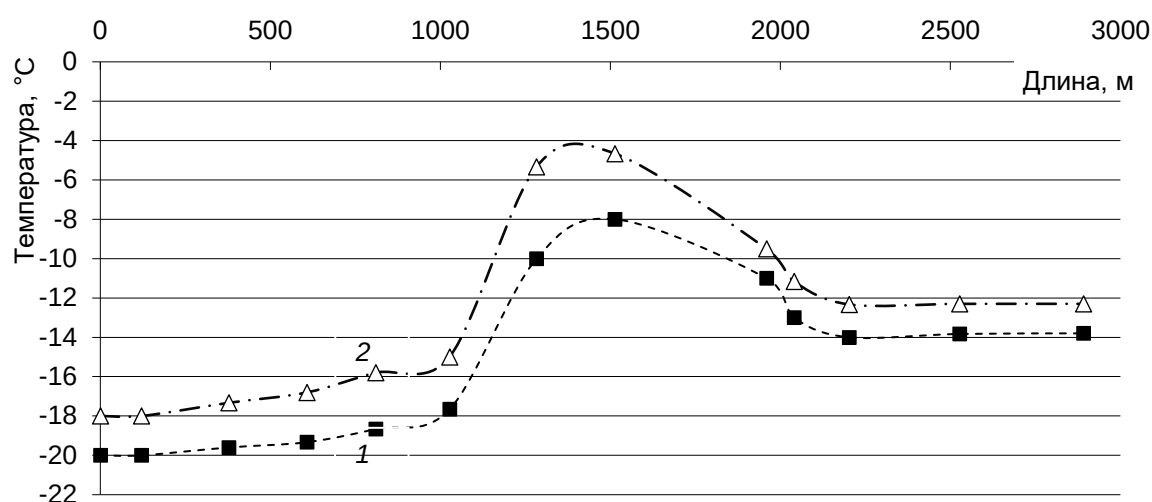


Рис. Изменение температур воздуха (1) и массива горных пород на глубине 0,25 м от поверхности стенки выработки (2) по пути вентиляционной струи

В то же время в отдельных случаях при проектировании и эксплуатации современных высокомеханизированных рудников Севера регулирование теплового режима не предусматривается вовсе, так как не считается, что работники находятся в дискомфортной температурной зоне, а устойчивость горных выработок, следовательно, и безопасность работ при нерегулируемом тепловом режиме считается выше. Спорность этого утверждения не является очевидной и требует научного обоснования в каждом конкретном случае.

В результате исследований было установлено, что часть выработок рудника при эксплуатации в условиях нерегулируемого теплового режима не отвечает критерию безопасности при возникновении чрезвычайных ситуаций [8]. В частности, это связано с тем, что используемые в рудниках типовые самоспасатели в большинстве своем имеют предельную температуру эксплуатации -20°C [9], а в большинстве выработок воздух в холодный период года имеет температуру ниже этого значения.

Особенно неблагоприятные микроклиматические условия на горнодобывающих предприятиях Арктической зоны могут возникнуть при длительном реверсировании вентиляционной струи в холодное время года. Прогноз ее реверсирования при температуре воздуха -47°C на протяжении 24 ч показал, что через 8 ч после начала реверса температура воздуха становится отрицательной по всей глубине ствола и может достигать -37°C на сопряжении вентиляционного канала и ствола [10].

Применение обычного самоспасателя с химически связанным кислородом в условиях таких шахт недопустимо. Учитывая сложные климатические условия Арктической зоны и особенности микроклиматических условий горных предприятий в этой зоне, исследование возможности применения самоспасателей, находящихся на оснащении горных предприятий, или необходимости создания специального аппарата, способного нормально функционировать в условиях Крайнего Севера, является актуальной задачей.

Цель. Исследование путей совершенствования самоспасателей с химически связанным кислородом для возможности их применения в условиях Арктической зоны.

Результаты исследований. В изолирующих самоспасателях с химически связанным кислородом одним из основных элементов конструкции является регенеративный патрон, заполненный кислородсодержащим продуктом на основе надпероксида калия (KO_2). Реакции регенерации с участием этого продукта протекают неоднозначно и зависят от условий: соотношения количеств диоксида углерода и влаги в регенерируемой газовой дыхательной смеси, ее температуры и других факторов. Процесс регенерации описывают следующими уравнениями химических реакций [11]:



При определенных условиях протекают также реакции с образованием KHCO_3 , $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и K_2O_2 .

Рассмотрим технические характеристики изолирующих самоспасателей, находящихся в эксплуатации на предприятиях Севера, согласно технической документации на эти аппараты (табл.).

Проанализировав полученные данные, можно сделать выводы, что ни один из представленных самоспасателей не способен защитить пользователя при температуре окружающей среды -20°C , а нижняя температурная граница использования самоспасателя Carbo-60 находится на уровне -5°C .

Таким образом, при определении условий эксплуатации шахты, вероятно, исходят из горно-геологических условий, стремясь не допустить оттаивания мерзлых горных пород, что вызывает снижение устойчивости окружающих выработку горных пород. Необходимость регулирования температуры подаваемого в выработку воздуха может обусловить, в частности, предварительное охлаждение вентиляционного потока в ледяных или грунтовых охладителях, описанное П. И. Мустелем [1], упуская при этом из виду безопасный температурный диапазон эксплуатации самоспасателя.

Таблица

Технические характеристики самоспасателей, находящихся в эксплуатации на предприятиях Севера

Технические характеристики	ШСС-1П	ШСС-Горняк	СИ-30	ШСС-Т	ШСС-ТМ	Carbo-60	Carbo-70	OSR40	OSR
Время защитного действия при легочной вентиляции, мин, не менее:									
– 10 дм ³ /мин	150	до 300	90	260	300	180	210	170	400
– 35 дм ³ /мин	50	50	30	60	60	60	70	45	95
– 70 дм ³ /мин	17	–	–	18	18	–	21	17	29
– при выходе со скоростью 4 км/ч	60	60	–	–	–	–	–	–	–
Температура вдыхаемой ГДС, °С, не более	55	55	60	55	50	50	50	50	50
Сопротивление дыханию, Па, не более	980	980	–	980	785	750	980	800	900
Объемная доля кислорода в ГДС, %, не менее	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Объемная доля диоксида углерода в ГДС, %, не более	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5
Объем дыхательного мешка, дм ³	5–6	≥ 5	6	6	6	≥ 6		≥ 7,5	≥ 7,5
Масса, кг, не более	3,0	3,0	2,35	2,95	2,85	2,8(–0,1)	2,8(±0,1)	2,1	2,65
Габаритные размеры, мм, не более:									
– высота	262	260 ± 3	–	270	234	227	–	220	205
– длина	150	150 ± 2	–	146	194	98	–	90	100
– ширина	140	–	–	113	95	215	–	180	180
Назначенный срок службы, лет	5	5	5	5	–	10	5	5,5	5,5
Температура эксплуатации, °С	от –20 °С до +40 °С	от –20 °С до +40 °С	от –20 °С до +60 °С	от –20 °С до +40 °С	от –20 °С до +40 °С	от –20 °С до +60 °С	от –20 °С до +60 °С	–	–

Технические характеристики	ШСС-1П	ШСС-Горняк	СИ-30	ШСС-Т	ШСС-ТМ	Carbo-60	Carbo-70	OSR40	OSR
Расположение дыхательного мешка ¹	В	В	В	В	Н	Н	Н	–	–
Производитель, страна*	Д	Д	Д	Т	Т	Тр	Тр	КНР	КНР
Форма самоспасателя ²	Ц	Ц	П	О	П	П	П	П	П
Материал корпуса самоспасателя ³	Пл	Пл	Пл	НЖ	М	Пл	Пл	–	–

Примечания:

* – Д – ООО «Интеркод», г. Донецк; Т – АО «Тамбов-маш»; Тр – DEZEGA, Турция;

¹ – В – верхнее, над регенеративным патроном; Н – нижнее, под регенеративным патроном;

² – Ц – цилиндрическая; П – прямоугольная; О – овальная;

³ – Пл – пластмасса; НЖ – нержавеющей сталь или пластик; М – металл

Поэтому для выработок, склонных к нарушению устойчивости окружающих мерзлых пород, наряду с поддержанием температуры воздуха на нижней границе допустимого предела целесообразна разработка и дальнейшее применение самоспасателя с диапазоном эксплуатации до -50°C . Это позволит обеспечить безопасность проведения работ относительно как механической устойчивости выработок, так и безотказности работы шахтного самоспасателя.

Следует отметить, что для самоспасателей с химически связанным кислородом наиболее критичным в отношении влияния окружающей температуры является срабатывание пускового устройства и первые 5–10 мин работы. Это обусловлено тем, что водяные пары выдыхаемой газовой дыхательной смеси конденсируются на холодных поверхностях воздухопроводной системы, резко уменьшая абсолютную влажность газовой дыхательной смеси, поступающей в поверхностный слой регенеративного продукта. Поэтому количество влаги, попадающей на регенеративный продукт, будет недостаточным для образования необходимого объема гидроксида калия и поглощения диоксида углерода.

При дальнейшей работе самоспасателя необходимая температура поддерживается благодаря тому, что реакция регенерации является экзотермической, обеспечивая температуру в ее зоне $(300\text{--}400)^{\circ}\text{C}$ [11], что позволяет беспрепятственное протекание реакций регенерации.

Опыт конструирования и испытаний самоспасателей с химически связанным кислородом показывает, что их функционирование при низких отрицательных температурах можно обеспечить применением термоизоляции всего аппарата и отдельных его конструктивных элементов, активацией «лобового» слоя регенеративного продукта, добавлением в него продукта на основе NaO_2 [9].

Выводы и перспективы дальнейших исследований. При оснащении шахтными самоспасателями горных предприятий, находящихся в условиях Арктической зоны, необходимо учитывать температурный фактор и неукоснительно применять только те самоспасатели, которые предназначены для эксплуатации в данном температурном диапазоне.

Следует отметить необходимость разработки изолирующего дыхательного аппарата для самоспасения, который предназначен для эксплуатации в более низких температурных условиях, в которых не могут работать существующие аппараты.

Список литературы / References

1. Хохолов, Ю. А. Температурный режим многолетнемёрзлого горного массива при ведении проходческих работ / Ю. А. Хохолов, Д. Е. Соловьев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 4. – С. 177–182. – EDN MUSIZL
Hoholov, Y. A., Solovyev, D. E. [The temperature schedule of everfrost rock mass during drifting works]. Mining informational and analytical bulletin, 2009, no. 4, pp. 177-182. (In Russian)
2. Воронов, Е. Т. Влияние температурного фактора на безопасность и эффективность ведения подземных горных работ в криолитозоне / Е. Т. Воронов, И. А. Бондарь // Вестник Читинского государственного университета. – 2010. – № 5(62). – С. 85–93. – EDN MTZVJX
Voronov, E. T., Bondar, I. A. [Influence of temperature on safety and efficiency of underground mining in cryolithic zone]. Chita State university journal, 2010, no. 5 (62), pp. 85-93. (In Russian)
3. Портола, В. А. Оценка мер по предупреждению эндогенных пожаров в угольных шахтах / В. А. Портола, А. Е. Овчинников, А. Н. Жданов // Горный информационно-

аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 12. – С. 205–214. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-12-0-205-214. – EDN NWHJKM

Portola, V. A., Ovchinnikov, A. E., Zhdanov, A. N. [Evaluation of endogenous fire precautions in coal mines]. Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal), 2019, no. 12, pp. 205-214. (In Russian)

4. Анализ аварийности и пожароопасности угольных шахт / В. А. Портола, А. Е. Овчинников, С. А. Син, В. Г. Игишев // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2018. – № 4. – С. 36–42. – EDN YUNBVB

Portola, V. A., Ovchinnikov, A. E., Sin, S. A., Igishev, V. G. [Coal mine accident rate and fire hazard analyses]. Bulletin of research center for safety in coal industry (Industrial safety), 2018, no. 4, pp. 36-42. (In Russian)

5. Гудков, С. В. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования / С. В. Гудков, С. И. Дворецкий, С. Б. Путин, В. П. Таров. – Москва: Машиностроение, 2008. – 188 с. – ISBN 978-5-94275-440-2. – EDN QMGHFN

Gudkov, S. V., Dvoreckij S. I., Putin S. B., Tarov V. P. *Izoliruyushchie dyhatel'nye apparaty i osnovy ih proektirovaniya* [Isolation breathing apparatuses and their design principles]. Moscow, Mechanical engineering Publ., 2008, 188 p. (In Russian)

6. Чеботарев, А. Г. Комплексная оценка условий труда и состояния профессиональной заболеваемости работников горно-металлургических предприятий / А. Г. Чеботарев, Д. Д. Семенцова // Горная промышленность. – 2021. – № 1. – С. 114–119. – DOI 10.30686/1609-9192-2021-1-114-119. – EDN UBONQD

Chebotaev, A. G. Semencova, D. D. [Comprehensive assessment of working conditions and occupational disease rates at mining and metallurgical enterprises]. Mining industry journal, 2021, no. 1, pp. 114-119. (In Russian)

7. Прогноз теплового режима горных выработок глубокой золотороссышной шахты криолитозоны, закрепленных металлической и комбинированной теплозащитной набрызгбетонной крепью / А. С. Курилко, Д. Е. Соловьев, В. В. Киселев, К. Н. Алексеев // Успехи современного естествознания. – 2023. – № 11. – С. 147–154. – DOI 10.17513/use.38156. – EDN UEDAOG

Kurilko, A. S., Solovev, D. E., Kiselev, V. V., Alekseev, K. N. [Forecast of thermal regime of mining workings in a deep gold placer mine in the cryolithozone supported with metal and combined thermal protective sprayed concrete support]. Advances in current natural sciences, 2023, no. 11, pp. 147-154. (In Russian)

8. Галкин, А. Ф. Тепловой режим рудников криолитозоны / А. Ф. Галкин // Записки Горного института. – 2016. – Т. 219. – С. 377–381. – EDN WWWOR

Galkin, A. F. [The thermal condition of the mines in cryolite zone]. Journal of Mining Institute, 2016, vol. 219, pp. 377-381. (In Russian)

9. Мамаев, В. В. Работа шахтного самоспасателя при отрицательных температурах / В. В. Мамаев, Л. А. Зборщик, Р. С. Плетенецкий // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 1 (63). – С. 55–65. – EDN YGVEAK

Mamaev, V. V., Zborshchik, L. A., Pletenetskiy, R. S. [Operation of mine self-rescuer at negative temperatures]. Scientific bulletin of the NII «Respirator», 2026, no. 1 (63), pp. 55-65. (In Russian)

10. Семин, М. А. Тепловые процессы в вентиляционном стволе глубокого рудника при реверсировании воздушной струи в холодное время года / М. А. Семин, Н. А. Князев, Д. С. Кормщиков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2023. – № 1. – С. 112–123. – DOI 10.15372/FTPRI20230111. – EDN TMUBOP

Semin, M. A., Knyazev, N. A., Kormshchikov, D. S. [Thermal processes in deep mine ventilation shafts in case of airflow reversal in cold seasons]. Journal of Mining Science, 2023, no. 1, pp. 112-123. (In Russian)

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

Didenko, N. S. *Regenerativnye respiratory dlya gornospasatelnykh rabot* [Regenerative respirators for mine rescue operations. 2nd ed.]. Moscow, Nedra Publ., 1990, 158 p. (In Russian)

Дата поступления рукописи 19.06.2026

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

Valery Vladimirovich Mamaev, Dr. of Tech. Sci., Main Researcher; e-mail: v.mamaev@res.80.mchs.gov.ru

Ruslan Sergeyevich Pletenetskiy, Senior Researcher; e-mail: r.pleteneckiy@res.80.mchs.gov.ru

Lyubov Alekseyevna Zborshchik, Senior Researcher; e-mail: lzborschik@yandex.ru

Federal State Institution «The Scientific Research Institute «Respirator» of EMERCOM of Russia»

283048, Donetsk, Artyoma St., 157. Phone: +7 (856) 252-78-01

Denis Aleksandrovich Plotnikov, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor;

e-mail: d.a.plotnikov@donnasa.ru

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«National Research Moscow State University of Civil Engineering»

2861232, Makeevka, Chervonogvardeysky District, Derzhavina St., 7. Phone: +7 (949) 403-53-70

SELF-RESCUER ISOLATING FOR CONDITIONS THE ARCTIC ZONE

Objective. Research on improving self-contained breathing apparatuses with chemically bound oxygen for their use in the Arctic zone.

Methods. Analytical methods of research of features of the design of breathing apparatus (mine self-rescuer) operated in the Arctic zone, their qualitative and quantitative indicators.

Results. The features of climatic conditions and technical characteristics of breathing apparatus (self-rescuer) used in the Arctic zone have been studied.

Scientific novelty. Ways of improving the basic model of an isolating self-rescuer for operation in the Arctic zone at temperatures below minus 20 °C are determined.

Practical significance. The research results can be used to develop new models of self-contained breathing apparatuses that ensure the safety of miners working in low temperatures.

Keywords: *breathing apparatus; personal respiratory protection equipment; self-rescuer; regeneration; sorption; chemisorption; regenerative product; oxygen-containing product; Arctic zone; negative temperatures.*

For citation: Mamaev V. V., Pletenetskiy R. S., Zborshchik L. A., Plotnikov D. A. Self-rescuer isolating for conditions the Arctic zone. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 54-62. EDN FRTLTYT

УДК 331.45:[656.017:519.87]

Константин Константинович Панайотов, канд. техн. наук, доцент, директор Краснодарского факультета инженерии и менеджмента (филиал); e-mail: k.panayotov@mail.ru
Юрий Витальевич Копец, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой техносферной безопасности института гражданской защиты, e-mail: Yura_87-87@mail.ru
Владимир Юрьевич Малкин, доктор экономических наук, доцент, директор института гражданской защиты, e-mail: malkvi@mail.ru
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»
291034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20А. Тел.: +8 (8572) 34-48-28

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА УРОВЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА

Цель. Разработка вероятностно-статистической модели, устанавливающей количественную связь диагностических параметров технического состояния автомобиля (эффективность торможения, состояние рулевого управления, уровень эмиссии) и уровнем профессионального риска возникновения нежелательного события (аварии, поломки, травмы).

Методы. В основу предложенной методологии положен логико-вероятностный подход, реализуемый через построение и анализ деревьев событий (деревьев отказов), а также аппарат статистического анализа данных о диагностических параметрах.

Результаты. Разработан алгоритм, включающий этапы формирования базы диагностических данных, идентификации опасных сценариев, построения деревьев событий, оценки вероятностей, расчёта интегрального показателя риска и анализа важности факторов.

Научная новизна. Представлена математическая модель, в которой уровень риска определяют как вероятность наступления корневого неблагоприятного события, зависящую от базовых событий – превышения диагностическими параметрами критических границ, отличающаяся от существующих решений тем, что позволяет обеспечить устойчивое снижение профессиональных рисков на всех этапах производственных процессов автотранспорта.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют ранжировать диагностические параметры по степени их влияния на итоговый риск, обосновывать периодичность и глубину контроля, а также принимать решения по приоритетности ремонтных воздействий. Модель предназначена для интеграции в системы риск-ориентированного управления охраной труда и промышленной безопасностью на автотранспортных предприятиях и в сервисных центрах. Приведен расчетный пример для сценария «Отказ рабочей тормозной системы в процессе движения», демонстрирующий применение модели.

Ключевые слова: профессиональный риск; безопасность труда; автомобильный транспорт; диагностические параметры; техническое состояние; вероятностно-статистическая модель; дерево событий; дерево отказов; риск-ориентированное управление.

Для цитирования: Панайотов К. К., Копец Ю. В., Малкин В. Ю. Вероятностно-статистические модели влияния диагностических параметров технического состояния автомобиля на уровень профессионального риска // Научный вестник НИИ «Респиратор» – 2026. – № 3 (63). – С. 63–71. – EDN GFPEVF

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Автомобильный транспорт является неотъемлемой частью современной экономики, однако деятельность, связанная с его эксплуатацией, техническим обслуживанием и ремонтом, характеризуется высоким уровнем профессионального риска [1]. По данным оперативной статистики, в период 2020–2024 гг. доля дорожно-транспортных происшествий и происшествий

на производстве, связанных с техническими неисправностями транспортных средств, составляла 15–25 % от общего числа инцидентов [2, 3]. Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 персонал (водители, механики, диагносты) подвергается воздействию комплекса опасных факторов: механических (движущиеся части, падающие предметы), физических (шум, вибрация), химических (выхлопные газы, технологические жидкости), а также риску травм при дорожных авариях.

Ключевым превентивным мероприятием, направленным на снижение таких рисков, является система технического диагностирования (далее – ТД) для выявления неисправностей на ранней стадии. Определение технического состояния автотранспортного средства зачастую проводят исходя из положений РД 37.009.015-98. Однако традиционные подходы к планированию технического обслуживания (далее – ТО) и ремонта часто носят нормативно-регламентный или корректирующий характер и не учитывают вероятностную природу отказов и их дифференцированное влияние на уровень безопасности. Существующие методики оценки профессиональных рисков на транспорте зачастую рассматривают техническое состояние как бинарный фактор («исправен/неисправен»), не устанавливая количественной связи между конкретными значениями диагностических параметров (например, удельной тормозной силой, люфтом рулевого колеса) и вероятностью возникновения опасного события¹.

В этой связи актуальной задачей является разработка научно-обоснованных моделей, позволяющих оценивать вклад каждого диагностируемого параметра в интегральный профессиональный риск. Такой подход соответствует принципам риск-ориентированного управления, изложенным в международных и национальных стандартах ГОСТ Р ИСО 31000-2019 и ISO 45001:2018, и позволяет перейти от пассивных к активным стратегиям обеспечения безопасности.

Анализ последних исследований и публикаций. В научных исследованиях для моделирования сложных причинно-следственных связей между отказами технических систем и конечными нежелательными событиями в различных отраслях успешно применяют логико-вероятностные методы, в частности, анализ деревьев событий (деревьев отказов) [4, 5]. Данный метод, обладая наглядностью и строгостью, позволяет декомпозировать корневое неблагоприятное событие на комбинации элементарных отказов и оценить его вероятность через базовые события [6, 7]. Кроме того, авторами [5, 8] предлагается для формализации экспертных знаний и учета комплексного воздействия факторов использовать метод анализа иерархий, а для прогнозирования динамики опасных зон – интеграция сценарного и численного моделирования [8, 9]. Однако рассмотренные исследования не устанавливают четких зависимостей параметров состояния технических систем от уровня профессионального риска.

Цель исследования. Целью данной работы является разработка вероятностно-статистической модели, устанавливающей количественную зависимость диагностических параметров технического состояния автомобиля и уровнем профессионального риска для персонала, основанной на логико-вероятностном подходе и анализе статистических данных.

Постановка задачи. Пусть для автомобиля или группы однотипных автомобилей определено множество контролируемых диагностических параметров $D \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$. Каждый параметр d_j имеет допустимую область значений $\Omega_j^{\text{доп}}$

¹ Методика оценки профессиональных рисков: утв. Приказом Минтруда России от 29.10.2021 № 771н.

и критическую (опасную) область $\Omega_j^{\text{крит}}$, выход за пределы которой существенно повышает вероятность отказа соответствующей системы.

На основе анализа потенциально опасных ситуаций идентифицировано множество $S \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ сценариев (корневых неблагоприятных событий), представляющих угрозу для персонала, например: «Отказ тормозной системы при движении под уклон», «Внезапная блокировка рулевого управления», «Возгорание в моторном отсеке во время ремонта», «Отравление угарным газом в закрытом помещении при регулировке двигателя».

Каждый сценарий S_i может быть реализован через различные комбинации отказов (базовых событий) B_k , связанных с превышением диагностическими параметрами критических значений, ошибками персонала или организационными нарушениями. Логическую структуру взаимосвязи между корневым событием S_i и базовыми событиями B_k описывают с помощью дерева событий (далее – ДС) или дерева отказов с использованием операторов конъюнкции (И) и дизъюнкции (ИЛИ) [5].

Вероятность базового события B_k , связанного с диагностическим параметром d_j , предлагается определять как функцию от текущего значения этого параметра x_j и его критического порога $L_j^{\text{крит}}$. В простейшем случае можно использовать модель, где вероятность отказа резко возрастает при приближении параметра к критической границе. Например, для параметров, ухудшение которых носит постепенный характер (износ тормозных колодок, увеличение люфта), можно использовать сигмоидную функцию:

$$P(B_k | x_j) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(x_j - \beta)}}, \quad (1)$$

где β – значение параметра, при котором вероятность отказа равна 0,5;

α – коэффициент, определяющий крутизну перехода.

Для параметров с внезапными отказами (обрыв ремня газораспределительного механизма) вероятность оценивают на основе статистики наработки на отказ.

Применение сигмоидальной функции в предлагаемой модели является методологически обоснованным. Оно позволяет преодолеть ограничения бинарных моделей, учесть нелинейный и постепенный характер нарастания риска при деградации технических систем автомобиля, а также обеспечивает гибкость и возможность калибровки модели на основе объективных статистических данных. Это соответствует общему риск-ориентированному подходу, направленному на прогнозирование и предотвращение инцидентов, а не на констатацию уже свершившихся отказов.

Тогда вероятность корневого события S_i вычисляют по правилам булевой алгебры и теории вероятностей для полученной логической структуры дерева [6]:

$$P(S_i) = F(P(B_1), P(B_2), \dots, P(B_K)), \quad (2)$$

где F – логико-вероятностная функция, соответствующая дереву событий для сценария S_i .

Уровень профессионального риска R_i , связанного со сценарием S_i , предлагается определять как математическое ожидание тяжести последствий:

$$R_i = P(S_i) \cdot C, \quad (3)$$

где C_i – коэффициент тяжести последствий реализации сценария S_i (например, в условных единицах от 1 до 10, основанный на потенциальном ущербе здоровью).

Интегральный профессиональный риск R_Σ для рабочего места (водителя, механика) или для автомобиля в целом может быть рассчитан как сумма рисков по всем значимым сценариям или как максимальный из них в зависимости от контекста оценки.

Таким образом, задача заключается в том, что на основе заданных диагностических параметров $\{d_j\}$, их текущих значений $\{x_j\}$, библиотеки возможных опасных сценариев $\{S_i\}$ с соответствующими деревьями событий и оценок тяжести последствий $\{C_i\}$ необходимо разработать алгоритм количественной оценки уровня профессионального риска R_Σ и определить вклад каждого диагностического параметра в его формирование для поддержки принятия управленческих решений по обеспечению безопасности.

Решение поставленной задачи осуществляется по следующему алгоритму, интегрирующему этапы сбора данных, логико-вероятностного моделирования и анализа важности.

Для формирования исходной информационной базы необходимо определить перечень диагностических параметров (D), критичных для безопасности. К ним относят параметры тормозной системы (усилие на педали, удельная тормозная сила, неравномерность), рулевого управления (свободный ход, усилие поворота), ходовой части (развал-схождение, состояние амортизаторов), двигателя (уровень токсичности, компрессия), электрооборудования (напряжение, ток утечки) и др. согласно ГОСТ Р 51709-2001.

Для каждого параметра d_j устанавливают нормативное значение и допустимые пределы $\Omega_j^{\text{доп}}$ (по ГОСТ, ТУ); критический порог $L_j^{\text{крит}}$, выход за который с высокой вероятностью ведет к отказу.

Вид функции ($P(B_k|x_j)$), связывающей значение параметра с вероятностью связанного базового события отказа, определяют на основе анализа статистики отказов, данных производителей, экспертных оценок [10].

Также необходимо сформировать библиотеки опасных сценариев (S), каждый из которых описывается формулировкой корневого события; перечнем вовлеченных систем и диагностических параметров; предварительной качественной оценкой тяжести последствий (C_i).

Для разработки логико-вероятностной модели каждого сценария (S_i) методом дедуктивного анализа строят дерево событий (ДС), в качестве корневого события выбирают (S_i). Далее событие декомпозируют на промежуточные и базовые события. Базовые события включают [11]:

$B_j^{\text{тех}}$ – технические отказы, связанные с превышением диагностическим параметром (d_j) критического порога;

$B^{\text{орг}}$ – организационные нарушения (просрочка ТО, отсутствие допуска к работе);

$B^{\text{чф}}$ – ошибки персонала (нарушение инструкций, неиспользование СИЗ).

Необходимо также установить логические связи между событиями с использованием вентилей (И) и (ИЛИ). Например, для сценария «Потеря устойчивости при торможении» может потребоваться одновременное наличие (И)

события «Снижение эффективности тормозов» и события «Резкий поворот руля», каждое из которых, в свою очередь, может произойти по разным причинам (ИЛИ). На основе вида функций $P(B_k|x_j)$ и текущих значений параметров $\{x_j\}$ вычисляют вероятности базовых событий $P(B_k)$.

Для каждого дерева вычисляют вероятность корневого события $P(S_i)$ по правилам преобразования логических функций в вероятностные [6]. Для вентиля (И) вероятность выходного события равна произведению вероятностей входных событий, для вентиля (ИЛИ) вероятность выходного события равна $1 - \prod(1 - P_{\text{вход}})$. Далее определяют уровень риска для каждого сценария: $R_i = P(S_i) \cdot C_i$, рассчитывают интегральный показатель риска для рассматриваемого объекта (автомобиля, рабочего места). В данной работе предлагается использовать сумму рисков по всем сценариям:

$$R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (4)$$

Для задач планирования может быть более релевантным показатель максимального риска.

Важность базовых событий (диагностических параметров) определяют на основе влияния изменения вероятности отдельного базового события $\Delta P(B_k)$ на вероятность корневого события $\Delta P(S_i)$ и итогового риска ΔR_{Σ} . Может использоваться индекс Фусселла – Везели (Fussell–Vesely index) или другие меры важности [7]. Ранжирование диагностических параметров по степени их влияния на интегральный риск позволяет выделить наиболее критические параметры, требующие приоритетного контроля и поддержания в узких пределах.

Разрабатываемые рекомендации связывают с установлением индивидуальных, ужесточенных контрольных пределов для наиболее значимых параметров; корректировкой периодичности проведения диагностических операций; планированием превентивных ремонтных воздействий до достижения параметрами критических значений; внесением изменений в инструкции по охране труда и программы обучения персонала, акцентирующие внимание на рисках, связанных с ключевыми неисправностями.

Предлагаемая модель предполагает циклическое обновление: при поступлении новых данных диагностики производят пересчет уровней риска, что позволяет осуществлять динамический риск-ориентированный менеджмент.

Результаты исследований. Рассмотрим (для примера) упрощенный сценарий S_1 : «Отказ рабочей тормозной системы автомобиля в процессе движения, приводящий к дорожно-транспортному происшествию».

Исходными данными являются значения диагностических параметров:

d_1 – удельная тормозная сила (УТС), % (норма ≥ 55 %, критический порог $L_1^{\text{крит}} = 40$ %);

d_2 – усилие на педали тормоза, Н (норма 300–600 Н, критический порог $L_2^{\text{крит}} = 700$ Н (заклинивание) или $L_2^{\text{крит}} = 200$ Н (провал));

d_3 – уровень тормозной жидкости в бачке, мм (критический порог – min).

Текущие значения: $x_1 = 48$ %, $x_2 = 350$ Н, x_3 – в норме.

Функции вероятности отказа для параметров выбраны в виде ступенчатых (для упрощения): $P(B_k) = 0$ при x_j в допустимых пределах и $P(B_k) = p_j$ при выходе за критический предел. На основе статистики [2, 3] примем: $p_1 = 0,05$ (при УТС < 40 %), $p_2 = 0,02$ (при отклонении усилия за критические пределы),

$p_3 = 0,10$ (при уровне жидкости ниже min). Коэффициент тяжести для данного сценария примем $C_1 = 8$ (высокая потенциальная тяжесть).

Для построения дерева событий необходимо выбрать корневое событие S_1 «Отказ рабочей тормозной системы в движении», определить логическую структуру (упрощенно): отказ происходит, ЕСЛИ (И) произошла утечка тормозной жидкости B_3 (связана с d_3), ИЛИ (И) произошел износ колодок/дисков, приведший к снижению УТС B_1 (связан с d_1), И произошло падение давления в гидроприводе B_2 (связано с d_2) за счет износа главного тормозного цилиндра. Также возможен прямой отказ усилителя (другой вариант B_2' (рис.)). Для примера ограничимся первым путем.

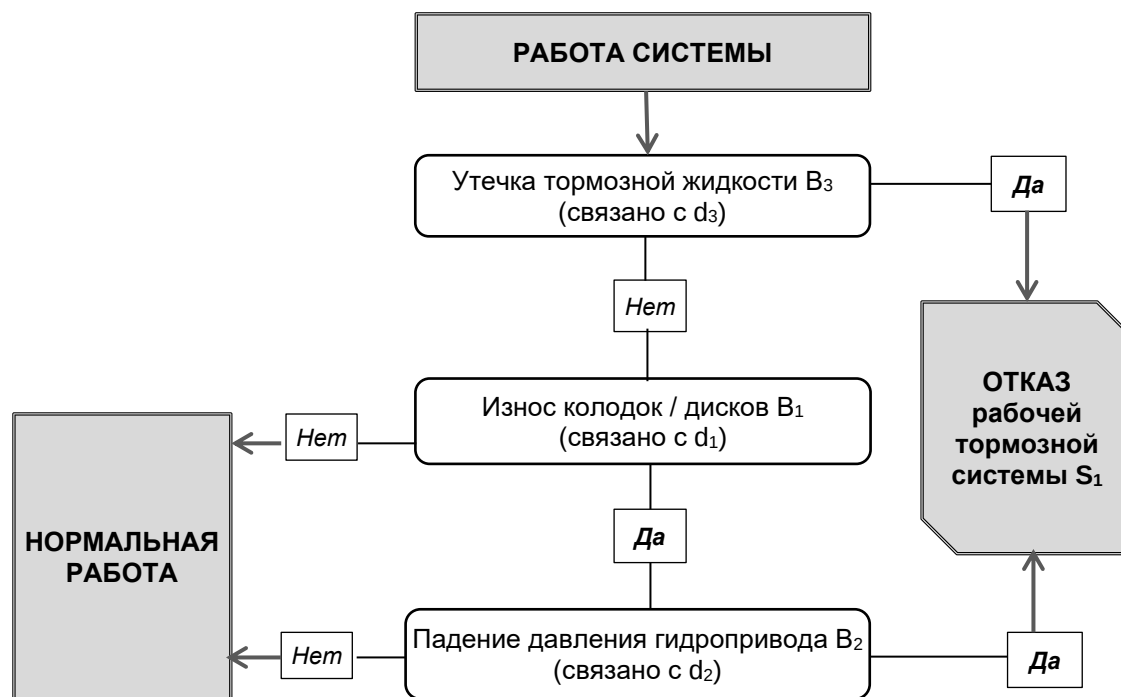


Рис. Графическое представление дерева событий

Таким образом, дерево имеет вид $S_1 = B_3 \vee (B_1 \wedge B_2)$.

Если текущие значения $x_1 = 48 \% > 40 \%$, то $P(B_1) = 0$; x_2 – в норме, то $P(B_2) = 0$; x_3 – в норме, то $P(B_3) = 0$. Следовательно, $P(S_1) = 1 - [(1 - 0) \cdot (1 - (0 \cdot 0))] = 0$. Риск $R_1 = 0 \cdot 8 = 0$.

Рассмотрим ситуацию, когда при очередной диагностике зафиксировано $x_1' = 38 \%$ (ниже критического порога). Тогда $P(B_1') = 0,05$. Предположим, $P(B_2)$ осталась 0,002 (небольшая вероятность отказа цилиндра), $P(B_3) = 0$. Тогда вероятность по пути через износ: $P(B_1 \wedge B_2) = 0,05 \cdot 0,002 = 0,0001$. Общая вероятность $P(S_1') = 1 - [(1 - 0) \cdot (1 - 0,0001)] = 0,0001$. Риск $R_1' = 0,0001 \cdot 8 = 0,0008$.

Абсолютное значение риска мало, однако относительный рост значителен (с нуля). Анализ важности показывает, что в данной конфигурации наиболее чувствительным параметром является d_1 (УТС), так как его ухудшение непосредственно приводит к появлению ненулевой вероятности по одному из путей реализации отказа. При приближении $P(B_2)$ к 0,01 вклад этого пути становится сопоставимым с другими.

Разработанная вероятностно-статистическая модель позволяет перейти от качественных оценок технического состояния к количественной оценке

его влияния на безопасность персонала. Основные преимущества предложенного подхода заключается в обосновании решений на основе модели, которая предоставляет собой численные аргументы для установления индивидуальных графиков ТО, выбора глубины диагностики и планирования ремонтов не по истечении регламентного срока, а по достижении порогового уровня риска. Выделение диагностических параметров с наибольшим вкладом в интегральный риск позволяет сконцентрировать ресурсы на контроле наиболее значимых узлов и систем (например, тормозная система оказывается приоритетнее системы кондиционирования). Модель может стать основой прогнозного модуля в системе управления охраной труда автотранспортного предприятия, соответствуя требованиям ГОСТ Р 22.0.05-2020 и ГОСТ Р ИСО 45001-2020 (ISO 45001:2018). Построенные деревья событий являются наглядным материалом для обучения водителей и технического персонала, демонстрируя, как постепенное ухудшение конкретного параметра (люфт руля, износ шин) через цепь событий может привести к тяжелым последствиям.

Для практического внедрения модели необходима разработка отраслевых библиотек сценариев и деревьев событий для типовых моделей автомобилей и видов работ (управление, ТО, ремонт). Эта работа может быть выполнена на основе анализа баз данных аварийности и отказов, таких как ARIA [11], с привлечением экспертов. Также требуется создание программного обеспечения сбора диагностических данных (через OBD-II, данные стендового контроля), расчета рисков в реальном времени или при плановой диагностике, и визуализации результатов в виде «светофора» или карт риска. Необходимо провести адаптацию методики для учета сочетанного воздействия факторов, например, одновременного ухудшения нескольких параметров ходовой части, которое может давать синергетический эффект на риск потери управляемости. Здесь может быть полезен метод анализа иерархий [12] для определения весовых коэффициентов комбинаций. Также необходимо провести валидацию модели на реальных статистических данных конкретного автопарка, позволяющая уточнить вероятности базовых событий и скорректировать пороговые значения.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Предложена вероятностно-статистическая модель оценки влияния диагностических параметров технического состояния автомобиля на уровень профессионального риска персонала. Модель основана на логико-вероятностном подходе, реализуемом через построение деревьев событий для типовых опасных сценариев, устанавливает количественную связь между значениями контролируемых параметров и вероятностью возникновения аварий или инцидентов.

Представленный алгоритм включает этапы формирования информационной базы, построения моделей, расчета рисков и анализа важности факторов. Расчетный пример для сценария отказа тормозной системы демонстрирует работоспособность методического подхода и его чувствительность к изменению диагностических параметров.

Разработанная модель способствует переходу к научно обоснованным методам управления профессиональными рисками в автотранспортной отрасли. Ее внедрение позволит оптимизировать процессы технического обслуживания и ремонта, повысить обоснованность управленческих решений в области охраны труда и, как следствие, снизить уровень аварийности и травматизма.

Список литературы / References

1. Девисилов, В. А. Охрана труда: учебник. 6-е изд., перераб. и доп. / В. А. Девисилов. – М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. – 512 с.
Devisilov, V.A. [Occupational Safety and Health, textbook]. Moscow, Forum Infra-M Publ., 2020, 512 p. (In Russian)
2. Изучение динамики рисков гибели и травматизма личного состава / В. А. Маштаков [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. – 2022. – № 3. – С. 4–11.
Mashtakov, V. A., Kondashov, A. A., Bobrinev, E. V., Shavyrina, T. A., Udavtsova, E. Yu. [Study of Death and Injury Risks Dynamics of the Federal Fire-Fighting Service Personnel Using Time Series Smoothing]. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no. 3, pp. 4-11. (In Russian)
3. Панкратов, Н. А. Уровни травматизма личного состава ФПС ГПС / Н. А. Панкратов, В. А. Маштаков, Е. Ю. Удавцова // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2022. – № 2(25). – С. 186–192.
Pankratov, N.A., Mashtakov, V. A., Udavtsova, E. Yu. [Injury rates among the personnel of the Federal Fire Service]. Siberian Fire and Rescue Bulletin, 2022, no. 2(25), pp. 186-192. (In Russian)
4. Копец, Ю. В. Анализ создания комплексной системы управления профессиональными рисками на объектах переработки твердых коммунальных отходов с применением методов прогнозного моделирования и автоматизированного контроля / Ю. В. Копец // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 4(5). – С. 24–31.
Kopecz, Yu. V. [Analysis of the creation of an integrated professional risk management system at municipal solid waste processing facilities using predictive modeling and automated control methods]. Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences, 2025, no. 4(5), pp. 24-31. (In Russian)
5. Ericson, C.A. Hazard Analysis Techniques for System Safety. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. 632 p. (In English)
6. Белов, П. Г. Системный анализ и управление рисками в техносфере: учебник для вузов / П. Г. Белов. – М. : Юрайт, 2024. – 658 с.
Belov, P. G. *Sistemnyy analiz i upravlenie riskami v tekhnosfere* [Systems analysis and risk management in the technosphere: textbook]. Moscow, Yurayt Publ., 2024, 658 p. (In Russian)
7. Fault Tree Analysis (FTA): Concepts and Applications / NASA System Safety Handbook. 2015. Vol. 1. Suppl. C. (In English)
8. Саати, Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ. / Т. Саати. – СПб: «Ленанд». – 2021. – 360с.
Saaty, T. *Prinyatie resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh: Analiticheskie seti*. [Decision Making with Dependence and Feedback]. Saint-Petersburg, Lenand Publ., 2021, 360 p. (In Russian)
9. Павленко, А. Т. О создании научно-методических основ рискориентированного обеспечения безопасности труда личного состава аварийно-спасательных и пожарных подразделений / А.Т. Павленко // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 4(5). – С. 49–56.
Pavlenko, A. T. [On the Development of Scientific and Methodological Foundations for Risk-Based Occupational Safety Assurance for Personnel of Emergency Rescue and Firefighting Units]. Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. 2025, no. 4(5), pp. 49-56. (In Russian)
10. Novozhilov, V. Computational fluid dynamics modeling of compartment fires. Progress in Energy and Combustion Science. 2001. Vol. 27, no. 6, pp. 611-666. (In English)

11. Немчинов, Д. В. Оценка риска аварий с использованием экспертных систем / Д. В. Немчинов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2007. – № 1(36). – С. 40–45.

Nemchinov, D. V. [Assessment of accident risk using expert systems]. Bulletin of the Astrakhan State Technical University. 2007, no. 1(36), pp. 40–45. (In Russian)

12. Reason, J. Human error: models and management. BMJ; 2000; Vol. 320, no. 7237. P. 768–770. (In English)

Дата поступления рукописи 26.03.2026

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым

Konstantin Konstantinovich Panayotov, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, Director of the Krasnodonskiy faculty of engineering and management (branch); e-mail: k.panayotov@mail.ru
Yuriy Vitalievich Kopets, Cand. of Tech. Sci., Head of the Department; e-mail: Yura_87-87@mail.ru
Vladimir Yuryevich Malkin, Dr. of Economics, Professor, Director of the Institute of Civil Defense; e-mail: malkvu@mail.ru
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Lugansk Vladimir Dahl State University»
291034, Lugansk, Molodezhny kv., 20-a. Phone: +8 (8572) 34-48-28

PROBABILITY-STATISTICAL MODELS OF THE INFLUENCE OF DIAGNOSTIC PARAMETERS OF THE TECHNICAL CONDITION OF A VEHICLE ON THE LEVEL OF PROFESSIONAL RISK

Purpose of the study. Development of a probabilistic-statistical model establishing a quantitative relationship between the values of diagnostic parameters of a vehicle's technical condition (braking efficiency, steering system condition, emission level) and the level of occupational risk of an undesired event (accident, breakdown, injury).

Methodology. The proposed methodology is based on a logic-probabilistic approach implemented through the construction and analysis of event trees (fault trees), as well as the use of statistical data analysis tools for diagnostic parameters.

Results. An algorithm has been developed that includes the following stages: forming a diagnostic data base, identifying hazardous scenarios, constructing event trees, estimating probabilities, calculating an integral risk indicator, and conducting a factor importance analysis.

Scientific novelty. A mathematical formulation of the problem is presented, in which the risk level is defined as the probability of a root adverse event occurring, depending on the probabilities of basic events – namely, diagnostic parameters exceeding critical thresholds. This approach differs from existing solutions in that it enables a sustainable reduction of occupational risks at all stages of motor vehicle production and operational processes.

Practical value. The obtained results allow for ranking diagnostic parameters by their impact on the final risk, justifying the frequency and depth of inspections, making decisions on the priority of repair actions. The model is designed for integration into risk-based occupational health and safety management systems, as well as industrial safety systems at motor transport enterprises and service centers. A calculation example is provided for the scenario «Failure of the service braking system during vehicle operation», demonstrating the application of the model.

Keywords: professional risk; occupational safety and health; motor transport; diagnostic parameters; technical condition; probabilistic-statistical model; event tree; fault tree; risk-based management.

For citation: Panayotov K. K., Kopets Yu. V., Malkin V. Yu. Probability-statistical models of the influence of diagnostic parameters of the technical condition of a vehicle on the level of professional risk. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 63–71. EDN GFPEVF

УДК 622.867:[613.6:614.873.2]

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

Роман Александрович Тишин, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.; e-mail: r.tishin@res.80.mchs.gov.ru

Александр Викторович Мавроди, канд. техн. наук, нач. отд.; e-mail: a.mavrodi@res.80.mchs.gov.ru

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

283048, г. Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 252-78-01

ОЦЕНКА ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ОРГАНИЗМ ГОРНОСПАСАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НАГРЕВАЮЩЕГО МИКРОКЛИМАТА

Цель. Оценка тепловой нагрузки на организм горноспасателя в условиях нагревающего микроклимата для повышения безопасности при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах.

Методы. Применен аналитический метод исследования тактических приемов и времени пребывания горноспасателей в зонах повышенных температур при ведении аварийно-спасательных работ на подземных объектах.

Результаты. Выполнена количественная оценка допустимого времени непрерывной работы горноспасателя в условиях повышенных температур на основе установленной зависимости прироста количества теплоты в его организме.

Научная новизна. Предложена зависимость определения предельно допустимого времени работы горноспасателя в условиях нагревающего микроклимата, которая отличается от известных учетом скорости вентиляционной струи и выполняемой физической нагрузки.

Практическая значимость. Проведенные исследования служат основой для разработки ведомственного документа по тактической подготовке оперативного состава ВГСЧ, что позволит повысить безопасность и уровень подготовки личного состава, а также минимизировать потенциальные риски, связанные с ведением горноспасательных работ в сложных условиях нагревающего микроклимата угольных шахт.

Ключевые слова: *горноспасатель; угольная шахта; зоны повышенных температур; предельное время работы; энергозатраты; теплоотдача; тактические приёмы.*

Для цитирования: Агарков Ал. В., Тишин Р. А., Мавроди А. В. Оценка тепловой нагрузки на организм горноспасателя в условиях нагревающего микроклимата // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 3 (63). – С. 72–79. – EDN HQLMJV

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Используемые в настоящее время технологии добычи угля, высокий уровень механизации основных и вспомогательных производственных процессов, а также увеличение глубины и протяженности горных выработок на фоне ухудшения горно-геологических условий негативно сказываются на уровне потенциальной опасности для работников угольных шахт и аварийно-спасательных формирований, обслуживающих данные горнодобывающие предприятия.

Большую опасность представляют горноспасательные работы в условиях повышенных температур шахтного воздуха. Работа в таких условиях связана с угрозой перегрева организма и теплового удара, поэтому она должна быть постоянно обеспечена безопасным и строгим контролем самочувствия оперативного состава, параметров шахтной среды, нормированного времени пребывания отделений в горных выработках.

Эффективность ведения горноспасательных работ зависит от уровня знаний и практических навыков оперативного состава военизированной горноспасательной части (далее – ВГСЧ) в области применения средств защиты органов дыхания, противотепловых средств, средств оказания первой помощи пострадавшим, приборов контроля шахтной среды, а также специального оборудования. Особое значение имеет слаженность действий личного состава, которая достигается планомерной и регулярной отработкой тактических приемов ведения горноспасательных работ в ходе специальной подготовки.

Для обеспечения безопасности работа в зонах повышенных температур регламентируется нормативной документацией, устанавливающей допустимое время непрерывного пребывания и передвижения горноспасателей в зависимости от температуры воздуха в горных выработках. Однако тепловое состояние горноспасателей зависит не только от температуры воздуха, но и от ряда других факторов, оказывающих существенное влияние на допустимое время работы: относительная влажность, скорость движения воздуха, температура горных пород, а также физическая нагрузка, выражаемая энергозатратами [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. К работе в зонах повышенных температур допускают горноспасателей, прошедших тепловую адаптацию и выдержавших проверку на тепловую устойчивость, после специального обучения особенностям ведения аварийно-спасательных работ в условиях нагревающего микроклимата [1].

На рис. 1 представлена динамика аварийности, смертельного травматизма и показателей добычи на объектах угольной промышленности за период с 2010 по 2023 гг. [3]. Наиболее распространенные аварии в шахтах – это подземные пожары, взрывы газовоздушной смеси и угольной пыли, внезапные выбросы угля, породы и газа, обрушения горных пород, затопления горных выработок.

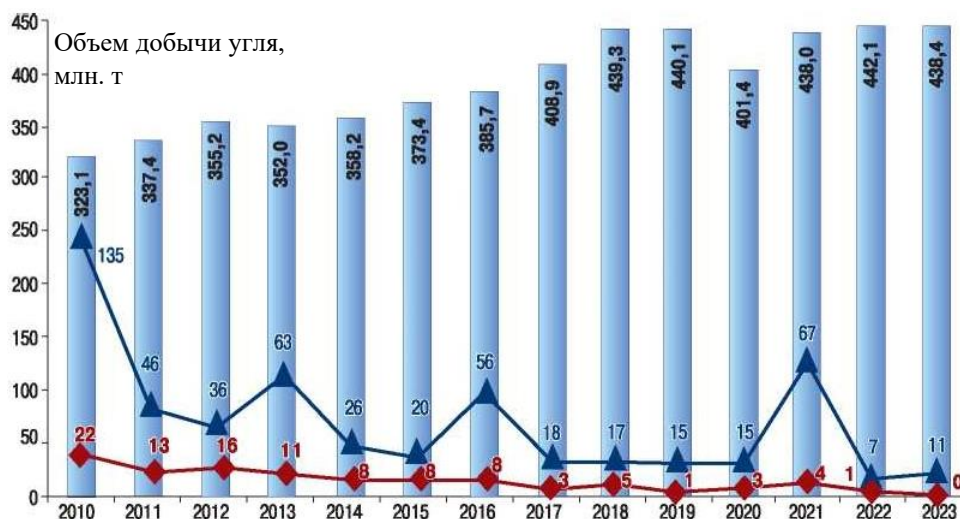


Рис. 1. Динамика аварийности, смертельного травматизма и показателей добычи на объектах угольной промышленности за период 2010–2023 гг.:

▲ – количество подземных аварий в шахтах;
 ◆ – количество травмированных в шахтах со смертельным исходом

Согласно ранее проведенным исследованиям по тепловому состоянию горноспасателя при использовании изолирующего регенеративного респиратора

Р-30 для защиты органов дыхания установлено, что влияние микроклиматических условий респирации незначительно по сравнению с тепловым воздействием окружающей среды [4]. В климатической камере при температуре 40 °С и влажности 100 % горноспасатели на беговой дорожке воспроизводили физическую нагрузку, соответствующую ходьбе со скоростью 3 км/ч и уклоном до 8°. В качестве дополнительной нагрузки они переносили за спиной груз с массой 12,5 и 14,5 кг. Во время экспериментов в разных сериях опытов горноспасатели дышали воздухом с температурой 25, 40 и 50 °С при влажности 100 %. При работе частота сердечных сокращений не поднималась выше 140 уд/мин, а температура тела достигала 39 °С. Время, проработанное до предельного теплового состояния при температуре тела 38,5 °С составляло, соответственно, при температуре вдыхаемого воздуха 25 °С – 40 мин, при температуре 40 °С – 44 мин, при температуре 50 °С – 35 мин. То, что результат оказался лучше при температуре вдыхаемого воздуха 40 °С, чем при аналогичном показателе 25 °С, можно объяснить более низкой исходной температурой тела горноспасателя при окружающей температуре вдыхаемого воздуха 40 °С.

Следует отметить, что различия в частоте сердечных сокращений и температуре тела при разных значениях температуры вдыхаемого воздуха были незначительными. Также было определено, что при температуре 50 °С и влажности 100 %, легочной вентиляции 40 л/мин и энергозатратах 465 Вт доля теплоты, подводимой при дыхании горноспасателя, составляет всего 6 % от энергии затрат (рис. 2). При этом не учитывалась теплота, поступающая к организму спасателя от скорости вентиляционной струи воздуха.

Цель. Оценка тепловой нагрузки на организм горноспасателя в условиях нагревающего микроклимата для повышения безопасности при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах.

Результаты исследований. Для достижения поставленной цели проанализирована градиция энергозатрат по степени тяжести работы и накопления теплоты в организме.

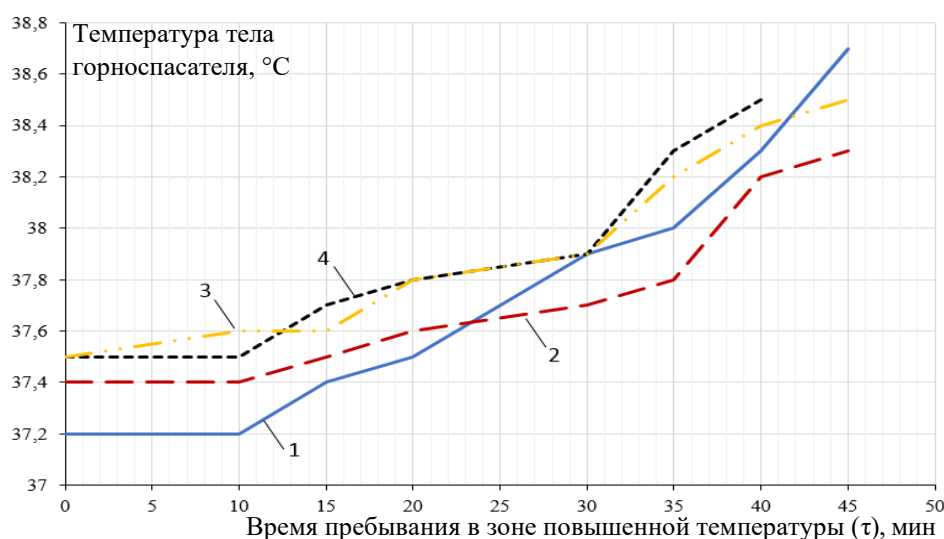


Рис. 2. Динамика изменения температуры тела горноспасателя при температуре окружающей среды 40 °С ($T = \Psi(\tau)$): 1 – без респиратора; 2 – с респиратором Р-30; 3 – с респиратором Р-30 и охлаждающими элементами; 4 – с респиратором Р-30, но без охлаждающих элементов

На основе анализа теплового режима угольных шахт [5] и причин тепловых поражений горноспасателей установлено, что в аварийной обстановке при расчете допустимого и предельного времени работы в условиях высоких температур необходимо комплексно учитывать следующие факторы: температуру и влажность шахтной среды, скорость воздушного потока в рабочей зоне, а также тяжесть труда, оцениваемую по энергозатратам горноспасателей [4]. Подземные аварии, например, взрывы газа и пыли, часто приводят к разрушению вентиляционных сооружений, что нарушает проветривание как аварийного участка, так и всей сети горных выработок. В результате горноспасательные работы проводятся в непроветриваемых выработках. Поэтому при расчете допустимого времени работы горноспасателей в условиях повышенного микроклимата необходимо учитывать поправку на скорость вентиляционной струи в аварийной выработке.

Для определения энергозатрат горноспасателя используем уравнение теплопередачи q_T , Вт [6]:

$$q_T = q_M(1 - \eta), \quad (1)$$

где q_M — общие энергозатраты, Вт;

η — КПД в экипировке, 1.

Градации энергозатрат по степени тяжести работы отражена в приказе МЧС России от 05.09.2017 № 251¹. На основании ряда исследований [1, 7, 8] и учитывая дополнительную нагрузку за счет респиратора, рекомендуемые энергозатраты для горноспасателей приведены в таблице.

Таблица

Энергозатраты по степени тяжести работы горноспасателя (респираторщика)

Степень тяжести работы	Энергозатраты, Вт		
	согласно ГОСТ 12.1.005-88	согласно ГОСТ Р ИСО 7243-2007	в среднем
Легкая	до 172	117–234	250
Средняя	172 до 293	> 234 до 360	350
Тяжелая	> 293	> 360 до 468	450
Очень тяжелая	—	> 468	550

Уравнение общего теплонакопления организма горноспасателя выражается следующим образом:

$$q_{\text{нак}} = q_T \pm q_R \pm q_c - q_d - W, \quad (2)$$

где $q_{\text{нак}}$ — общее теплонакопление организма (результатирующий тепловой поток, подводимый к телу человека или отводимый от него), Вт;

q_T — метаболическая теплопродукция человека, Вт;

q_R — теплообмен излучением, Вт;

¹ Приказ МЧС России от 09.06.2017 № 251 «Об утверждении Устава военизированной горноспасательной части по организации и ведению горноспасательных работ»

q_c – теплообмен конвекцией, Вт;
 q_d – теплоотдача испарением (потоотделение и дыхание), Вт;
 W – внешняя энергия, затраченная на совершение полезной внешней работы (ходьба, перенос груза, физическая работа и др.), Вт.

Принимаем все внешние тепловые потоки (q_c, q_R, q_d) между горноспасателем и окружающей средой как сумму всех тепловых потоков, тогда общее теплонакопление организма горноспасателя (2) с учетом уравнения (1) примет вид:

$$q_{\text{нак}} = q_M(1 - \eta) - W + q_{\text{внеш}}, \quad (3)$$

где $q_{\text{внеш}}$ – внешние тепловые потоки между горноспасателем и окружающей средой, Вт.

Теплообмен конвекцией (q_c) учитывает влияние интенсивности работы горноспасателя на скорость вентиляционной струи в выработке и выражается зависимостью (4):

$$q_c = h_c \times S_T(T_K - T_r), \quad (4)$$

где h_c – коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/(м²·°C), который определяют согласно формуле [9]:

$$h_c = 2 + 5\sqrt{v_{\text{ср}}}, \quad (5)$$

где $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость вентиляционной струи в выработке, м/с;

S_T – площадь поверхности тела горноспасателя (BSA), м²;

T_K – средняя температура горноспасателя, °C;

T_r – средняя температура в аварийной горной выработке, °C.

Для определения площади поверхности тела горноспасателя (S_T , м²) применим формулу Мостеллера²:

$$S_T = \sqrt{\frac{m \times h}{3600}}, \quad (6)$$

где m – масса, кг;

h – рост, см.

Таким образом, допустимое время работы ($\tau_{\text{доп}}$) горноспасателя при тепловом воздействии определяется согласно уравнению (7):

$$\tau_{\text{доп}} = \frac{\Delta Q_{\text{доп}}}{q_{\text{нак}} \times 60}, \quad (7)$$

где $\Delta Q_{\text{доп}}$ – допустимый прирост количества теплоты в организме спасателя, Дж.

Согласно предложенным уравнениям выполнен расчет при параметрах: физическая нагрузка горноспасателя – средней тяжести, скорость вентиляционной струи – 0,5 м/с, относительная влажность в горной выработке – 100 %.

На рис. 3 представлены графики зависимости допустимого времени работы горноспасателя в условиях нагревающего микроклимата (кривая 1 отражает

² https://ru.ruwiki.ru/wiki/Площадь_поверхности_тела?ysclid=mseclaby5201382193&utm_referrer=https://alice.yandex.ru/

действующие федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности, которые используют горноспасатели при ведении аварийно-спасательных работ на горных предприятиях; кривая 2 основана на предложенной зависимости, определяющей допустимое время работы горноспасателя (респираторщика) в условиях повышенного микроклимата с учетом скорости вентиляционной струи и уровня физической нагрузки).

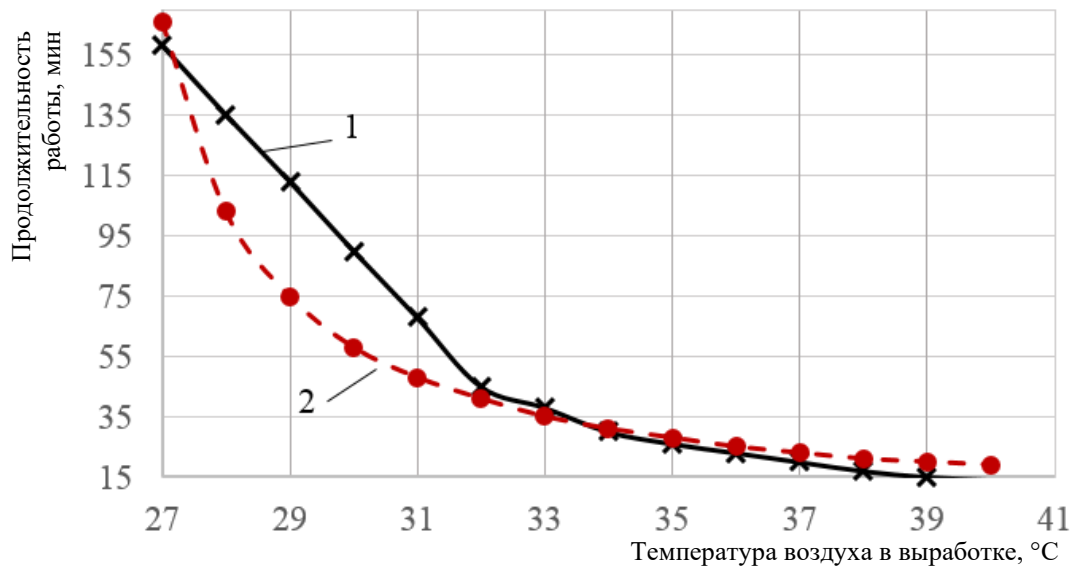


Рис. 3. Зависимости допустимого времени работы горноспасателя в условиях нагревающего микроклимата ($\tau = f(T)$): 1 – согласно действующим нормативам; 2 – согласно предлагаемой зависимости (7)

Анализ кривых 1 и 2 (рис. 3) в интервале температур от 29 до 33 °C позволил установить, что предлагаемая зависимость (кривая 2) обеспечивает более точные значения допустимого времени работы горноспасателя по сравнению с действующими нормативами. Так, при температуре воздуха 29 °C расчётное время сокращается до 75 мин (против нормативных 115 мин), а при 31 °C – до 48 мин (против нормативных 68 мин).

Поэтому внедрение в тактическую подготовку оперативного состава результатов исследований не только позволит повысить эффективность работы горноспасателей, но и существенно снизить вероятность возникновения профессиональных заболеваний, что является важным аспектом обеспечения безопасности оперативного состава подразделений ВГСЧ.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. В ходе проведенных исследований установлена зависимость допустимого времени пребывания горноспасателя при ведении аварийно-спасательных работ в условиях повышенных температур шахтной среды, которая учитывает характер выполняемой работы и скорость вентиляционной струи в аварийной горной выработке. Это позволяет определить допустимое время работы на аварийном участке, а также оптимизировать условия ведения аварийно-спасательных работ путем использования специальных охлаждающих систем и регулярных перерывов для восстановления функциональных возможностей горноспасателей, и тем самым снизить риск перегрева организма.

Список литературы / References

1. Пересторонин, М. О. Исследование вопроса нормирования продолжительности горноспасательных работ в зоне высоких температур воздуха / М. О. Пересторонин, А. В. Зайцев, О. С. Паршаков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2025. – № 8. – С. 144–163.

Perestoronin, M. O., Zaitsev, A. V., Parshakov, O. S. [Timing of mine rescue operations under high air temperatures]. Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal), 2025, no. 8, pp. 144-163. (In Russian)

2. Медгаус, В. М. Необходимость повышения теплоустойчивости спасателей / В. М. Медгаус, О. В. Папазова // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: труды XII Международной научно-практической конференции. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2017. – С. 119-1–120-5.

Medgaus, V. M., Papazova, O. V. *Neobhodimost' povysheniya teploustojchivosti spasatelej* [The need to increase the thermal stability of rescuers]. Safety of Enterprises in Industrialized Regions: Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference. Kemerovo: T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University Publ., 2017, pp. 119-1–120-5. (In Russian)

3. Руденко, В. А. Тактика ведения горноспасательных работ при неполном составе вспомогательных горноспасательных команд: специальность 2.10.3 «Безопасность труда»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Виталий Александрович Руденко. – Москва, 2025. – 25 с. Место защиты: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС».

Rudenko, V. A. *Taktika vedeniya gornospasatel'nyh rabot pri nepolnom sostave vspomogatel'nyh gornospasatel'nyh komand* [Tactics for conducting mine rescue operations with incomplete complement of auxiliary mine rescue teams: 2.10.3 «Occupational safety» speciality: Candidate of Technical Sciences Dissertation / Vitaly Alexandrovich Rudenko]. Moscow, 2025, 25 p. Place of thesis defense: National University of Science and Technology «MISIS» (In Russian)

4. Кирьян, А. П. Научные основы защиты горнорабочих и спасателей при эрготермических нагрузках: монография / А. П. Кирьян. – Донецк: ФГКУ «ННИ «Респиратор» МЧС России», 2024. – 306 с. – ISBN 978-5-6052996-3-9

Kiryan, A. P. [Scientific Foundations for the Protection of Miners and Rescuers Under Ergothermic Loads: Monograph]. Donetsk, FSI «NII «Respirator» EMERCOM of Russia» Publ., 2024, 306 p. – ISBN 978-5-6052996-3-9 (In Russian)

5. Булгаков, Ю. Ф. Тепловой режим добычных участков глубоких угольных шахт / Ю. Ф. Булгаков, Р. А. Тишин // Проблемы горного давления. – 2016. – № 4 (31). – С. 83–90.

Bulgakov, U. F., Tishin, R. A. [Thermal mode of booty areas of deep coal mines]. Problem of mining pressure, 2016, no. 4 (31), pp. 83-90. (In Russian)

6. Дьяконов, В. Г. Основы теплопередачи и массообмена / В. Г. Дьяконов, О. А. Лончаков. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2015. – 244 с.

Dyakonov, V. G., Lonshchakov, O. A. [Fundamentals of Heat and Mass Transfer]. Kazan, KNRTU Publ., 2015, 244 p. (In Russian)

7. Мартынов, А. А. Способы уменьшения теплоотдачи горного массива и потерь холода при нормализации тепловых условий в глубоких шахтах / А. А. Мартынов, Г. Г. Литвинский, А. В. Мартовицкий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № S1. – С. 83–90.

Martynov, A. A., Litvinsky G. G., Martovitsky A. V. [Methods for reducing heat transfer from the rock mass and cold losses when normalizing thermal conditions in deep mines]. Mining Information and Analytical Bulletin, 2005, no. S1, pp. 83-90. (In Russian)

8. Методы и средства противотепловой защиты спасателей (горнорабочих) и тушение пожаров в тупиковых выработках: монография / С. В. Борщевский, В. В. Мамаев, С. А. Калякин [и др.]. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2021. – 440 с.

Borshchevsky, S. V., Mamaev, V. V., Kalyakin, S. A., Mariychuk, I. F., Pilipenko, A. A., Dikenshteyn, I. F., Zavyalov, G. V., Kavera, A. L., Vygovskaya, D. D., Peftibay, G. I., Tishin, R. A. *Metody i sredstva protivoteplovooy zashchity spasateley (gornorabochikh) i tushenie pozharov v tupikovykh vyroboatkakh: monografiya* [Methods and Means of Anti-Heat Protection for Rescuers (Miners) and Fire Fighting in Dead-End Workings: A Monograph]. Donetsk, NIIGD «Respirator» Publ., 2021, 440 p. (In Russian)

9. Венгеров, И. Р. Теплофизика шахт и рудников. Математические модели. Том 1. Анализ парадигмы / И. Р. Венгеров. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 632 с.

Vengerov, I. R. *Teplofizika shakht i rudnikov. Matematicheskie modeli. Tom 1. Analiz paradigmy* [Thermal Physics of Mines and Ore Deposits. Mathematical Models. Vol. 1. Analysis of the Paradigm]. Donetsk, Nord-Press Publ., 2008, 632 p. (In Russian)

Дата поступления рукописи 20.07.2026

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

Aleksandr Vladislavovich Agarkov, Cand. of Tech. Sci., Deputy Head of the Institute;

e-mail: aleksander_agarkov@mail.ru

Roman Aleksandrovich Tishin, Cand. of Tech. Sci., Leading Researcher; e-mail:

r.tishin@res.80.mchs.gov.ru Alexander Viktorovich Mavrodi, Cand. of Tech. Sci., Head of Dep.; e-mail:

a.mavrodi@res.80.mchs.gov.ru Federal State Institution

«The Scientific Research Institute «Respirator» EMERCOM of Russia»

283048, Donetsk, Artyoma St., 157. Phone: +7 (856) 252-78-01

ASSESSMENT OF THE THERMAL LOAD ON THE BODY OF A MOUNTAIN RESCUER IN A HOT MICROCLIMATE

Purpose. Research of the influence of the ventilation jet velocity and the performed physical load on the duration of work of a mine rescuer (respirator) in conditions of a heating microclimate when conducting emergency rescue operations in coal mines.

Methods. Analytical and theoretical methods of research of tactical methods and time of stay of rescuers in zones of increased temperatures when conducting mine rescue operations at underground facilities are applied.

Results. A quantitative assessment of the permissible time of continuous work of a mine rescuer in conditions of elevated temperatures has been performed on the basis of the established dependence of the increase in the amount of heat in the mine rescuer's body.

Scientific novelty. A dependence has been proposed for determining the maximum permissible time of work of a mine rescuer in conditions of a heating microclimate, which differs from the known ones by taking into account the speed of the ventilation jet and the performed physical load.

Practical value. The conducted research serves as the basis for the development of a departmental document on the tactical training of the operational staff of the FGKU «VGSCH DPR», which will improve the safety and training level of personnel, as well as minimize the potential risks associated with conducting mine rescue operations in difficult and dangerous conditions of a heating microclimate in coal mines.

Keywords: *mine rescue operations; coal mine; areas of elevated temperatures; limit time of operation; energy consumption; heat transfer; tactical techniques.*

For citation. Agarkov A. V., Tishin R. A., Mavrodi A. V. Assessment of the thermal load on the body of a mountain rescuer in a warming microclimate. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 72-79. EDN HQLMJV

УДК 622.248.5:331.452

Наиль Ахиярович Абдуллин, канд. техн. наук, доцент; e-mail: I_jane@mail.ru

Марсель Ралифович Мукимов, студент-магистрант; e-mail: mukimovmarsel@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уфимский государственный нефтяной технический университет»

450062, г. Уфа, ул. Матвея Пинского, 4. Тел. +7 (347) 242-03-70

ПРИЧИНЫ АВАРИЙНОСТИ И РАЗРАБОТКА МЕР БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ ПО ЗАРЕЗКЕ БОКОВЫХ СТВолоВ

Цель. Установить основные причины аварийности и разработать комплекс мероприятий по обеспечению безопасности персонала при проведении работ по зарезке боковых стволов (ЗБС) на основе анализа промысловых данных.

Методы. Ретроспективный анализ результатов расследования инцидентов за 2024–2025 гг., натурные наблюдения за работой буровых бригад, анонимное анкетирование 48 работников, а также метод анализа рисков «галстук-бабочка» (Bow-Tie) для моделирования критических аварийных сценариев.

Результаты. Установлено, что наибольшее количество инцидентов (43 %) происходит на этапе бурения нового ствола, причём в 70 % случаев причиной является сочетание технологических нарушений и человеческого фактора. Анкетирование показало, что 67 % респондентов нарушали инструкции по охране труда, преимущественно из-за сжатых сроков (78 %) и усталости (61 %). На основе выявленных закономерностей разработан комплекс мероприятий по обеспечению безопасности персонала, включающий технические и организационные решения.

Научная новизна. Заключается в комплексном применении методов количественной и качественной оценки рисков для выявления системных причин аварийности при ЗБС и обосновании внедрения технических решений, ранее не применявшихся системно при работах на ЗБС (динамометрические модули с блокировкой обратного удара, системы автоматического торможения колонны труб), а также организационного решения – системы «Стоп-работа», наделяющей персонал правом и обязанностью останавливать работы при сомнениях в безопасности, что позволяет минимизировать влияние выявленных факторов нарушений.

Практическая значимость. Разработанные мероприятия позволяют снизить уровень травматизма и аварийности, сократить непроизводительное время, могут быть использованы буровыми подрядчиками, проектными институтами и службами охраны труда нефтегазовых предприятий.

Ключевые слова: зарезка боковых стволов; бурение; промышленная безопасность; нефтегазодобыча; аварийность.

Для цитирования: Абдуллин Н. А., Мукимов М. Р. Причины аварийности и разработка мер безопасности персонала при проведении работ по зарезке боковых стволов // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 3 (63). – С. 80–87. – EDN ANKGTB

Постановка проблемы. В условиях сокращения легкодоступных запасов углеводородов и перехода нефтегазовой отрасли к преимущественному строительству горизонтальных скважин технология зарезки боковых стволов (ЗБС) становится одним из основных методов вовлечения в разработку трудноизвлекаемых запасов и продления жизненного цикла месторождений. Согласно данным Министерства энергетики РФ, к 2024 г. годовая проходка приблизилась к 30 млн м, при этом доля горизонтального и наклонно-направленного бурения составила около двух третей, а на трудноизвлекаемые запасы сегодня приходится 58 % от общего объема добычи нефти [1].

Однако интенсификация применения ЗБС сопровождается ростом аварийности и травматизма. Анализ статистики Ростехнадзора за 2024 г. подтверждает, что цена

ошибки остается крайне высокой: на объектах нефтегазодобычи зафиксировано 9 аварий, 18 пострадавших, из них 8 – со смертельным исходом. При этом инциденты для процесса бурения и ЗБС характерно, что инциденты редко возникают внезапно – они являются следствием цепочки отклонений от режима бурения, некачественного контроля или ошибочных решений персонала [2].

Анализ последних исследований и публикаций. В практике строительства скважин и проведения работ по ЗБС традиционно применяют комплексный подход к обеспечению безопасности, сочетающий организационные и технические методы. К организационным методам относят разработку регламентов и инструкций по охране труда, проведение инструктажей, а также системы контроля за действиями персонала. Технические методы включают использование противовыбросового оборудования, систем контроля параметров бурения (нагрузку на долото, крутящий момент, давление), средств коллективной и индивидуальной защиты, а также применение автоматических систем управления технологическими процессами.

Однако анализ научных исследований и промышленной статистики показывает, что существующие подходы не в полной мере обеспечивают требуемый уровень безопасности. В работе [3] установлено, что причины осложнений при ЗБС часто связаны с комплексом факторов: некачественное шаблонирование эксплуатационной колонны, наличие загрязнений на ее стенках, отсутствие цементного камня за колонной в интервале вырезания «окна», нарушение режимов фрезерования. В результате масштабного анализа инцидентов при бурении и ЗБС по 363 скважинам 13 месторождений Ханты-Мансийского автономного округа за 2012–2023 гг. установлено, что основной вид осложнений – прихваты бурильных колонн (50,4 % от общего числа аварий), при этом потери времени на их ликвидацию достигают 62,5 % в общем балансе непроизводительного времени [4].

Цель. Установить основные причины аварийности и разработать комплекс мероприятий по обеспечению безопасности персонала при проведении работ по зарезке боковых стволов на основе анализа промышленных данных.

Методы исследования. Для снижения аварийности и травматизма при работах по ЗБС необходим комплексный подход, сочетающий качественный анализ технологических процессов и количественную оценку рисков. Предлагаемая методология позволяет не только идентифицировать причины уже произошедших инцидентов, но и прогнозировать потенциально опасные ситуации на стадии планирования и проведения работ.

Для этого использован метод ретроспективного анализа отчетной документации по скважинам, на которых проводились работы по ЗБС за период 2024–2025 гг. Изучались суточные рапорты буровых мастеров; акты расследования инцидентов и аварий; наряды-допуски на работы повышенной опасности.

Для анализа выявлены наиболее часто повторяющиеся ситуации, которые приводили к остановкам, осложнениям или создавали угрозу для жизни и здоровья работников. Особое внимание уделяли операциям, традиционно считающимся «рутинными» (спускоподъемные операции, крепление устьевого оборудования, подготовка ствола), поскольку, как показала практика, именно при их выполнении происходит наибольшее число нарушений.

Использован метод непосредственного наблюдения за работой буровых бригад в процессе ЗБС на кустовых площадках. В течение 2025 – начале 2026 гг. проведено 6 выездов на объекты продолжительностью от 30 до 35 суток каждый.

Фиксировали:

- фактическую последовательность операций и её соответствие технологическим картам;
- типичные отклонения, которые допускают члены бригады «для ускорения процесса»;
- условия труда (освещенность в темное время суток, состояние проходов и площадок, погодные условия);
- действия персонала в нештатных ситуациях (например, при кратковременных остановках насосов).

Метод хронометража позволил выявить неочевидные риски, которые не фиксируют в официальных отчетах, но регулярно возникают в реальной работе.

Для понимания причин нарушений с точки зрения самих работников проведено анонимное анкетирование 48 человек, задействованных в процессе ЗБС: бурильщиков, помощников бурильщика, мастеров, технологов и специалистов по охране труда. Вопросы анкеты касались наиболее опасных, по мнению респондентов, этапов работ; случаев, когда работники вынужденно нарушали инструкции (из-за нехватки времени, поломок); предложений по улучшению условий труда и организации работ.

Дополнительно проводили полужформализованные интервью с мастерами и начальниками участков для выявления системных проблем, не попадающих в официальную отчетность (например, нехватка средств индивидуальной защиты, некомплект бригад, износ оборудования).

Проведено сопоставление требований действующих инструкций по охране труда и технологии ведения работ с реальными условиями на буровых площадках. Проверяли наличие и актуальность документации на рабочих местах; соответствие фактической расстановки оборудования проектным схемам; доступность аварийных выходов и средств пожаротушения; реальное состояние ограждений, блокировок, сигнализации. Выявленные расхождения документировали и классифицировали по степени влияния на безопасность.

Для наглядного представления причинно-следственных связей и обоснования разработанных мероприятий применен метод анализа рисков «галстук-бабочка» (Bow-Tie). Данный метод интегрирует «дерево отказов» (слева от опасного события) и «дерево событий» (справа), а в центре размещает барьеры безопасности, предотвращающие реализацию угрозы или снижающие тяжесть последствий.

В рамках исследования построена диаграмма Bow-Tie для наиболее критичного аварийного сценария при ЗБС – прихвата бурильного инструмента, на который приходится 43 % всех инцидентов (рис. 1).

Построенная диаграмма Bow-Tie наглядно демонстрирует, что обеспечение безопасности персонала требует не единичных мер, а создания комплексной многоуровневой системы защиты.

Таким образом, предложенная методика формирует научно обоснованный базис для разработки мероприятий по обеспечению безопасности персонала при проведении работ по ЗБС.

Результаты исследований. Изучение суточных рапортов и актов расследования инцидентов позволило выявить этапы работ при ЗБС, на которых происходит наибольшее количество нарушений и осложнений. Распределение зафиксированных инцидентов (всего 89 случаев за анализируемый период) представлено в таблице.

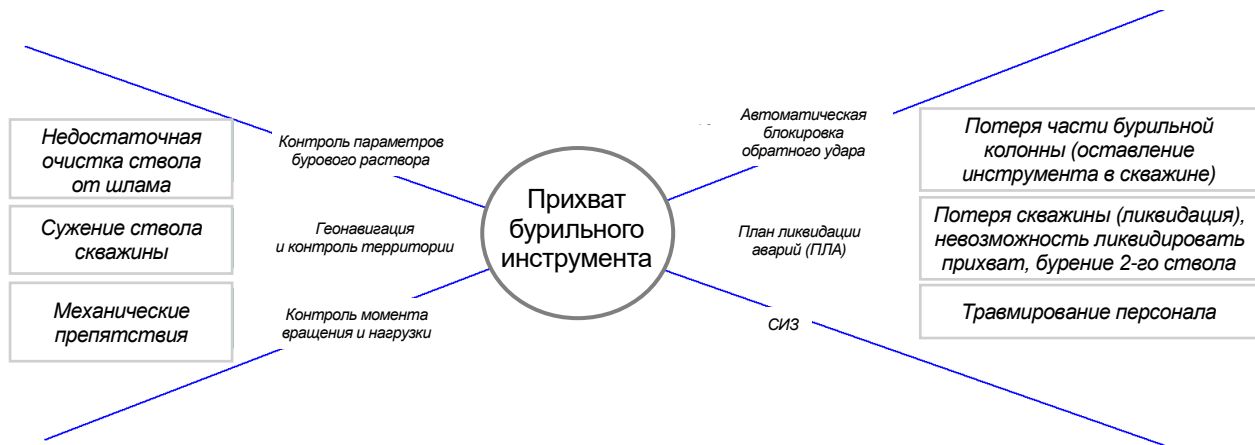


Рис. 1. Диаграмма «галстук-бабочка»

Таблица

Распределение зафиксированных инцидентов на этапах работ

Этап работ	Доля от общего количества инцидентов, %	Характерные нарушения
Подготовительные работы (монтаж оборудования, опрессовка)	19	Негерметичность соединений, неисправность контрольно-измерительных приборов
Вырезание «окна» в эксплуатационной колонне	17	Поломка фрезеров, отклонение от проектного интервала
Бурение пилотного ствола и его расширение	43	Прихваты, поглощения раствора
Геофизические исследования и геонавигация	8	Сбои в работе оборудования
Крепление и цементирование	13	Некачественное цементирование
Заключительные работы (демонтаж)	6	Нарушения при демонтаже

Наибольшее количество инцидентов (43 %) происходит на этапе бурения. Анализ актов расследования показал, что в 70 % случаев причиной становилось сочетание двух факторов: несоответствие параметров бурового раствора и запоздавшая реакция персонала на первые признаки осложнений.

Сравнительный анализ 78 нарядов-допусков на работы повышенной опасности и фактических условий их выполнения выявил следующие системные нарушения:

- неполнота инструктажа – в 42 % случаев в нарядах-допусках отсутствовала информация о мерах безопасности применительно к конкретной скважине (заполнялись шаблонные фразы);

- отсутствие актуальных схем – на 8 из 12 посещенных объектов схемы расположения оборудования и путей эвакуации либо отсутствовали на рабочих местах, либо не обновлялись после перепланировки площадки;

- неисправность средств коллективной защиты – на 4 объектах зафиксировано отсутствие или неисправность ограждений.

Анонимное анкетирование 48 работников дало важную информацию о субъективном восприятии безопасности и реальных причинах нарушений. Так, 67 % опрошенных отметили 1-2-кратное или многократное нарушение

инструкции по охране труда (рис. 2). Среди основных причин нарушений подавляющее большинство респондентов указывали на нехватку времени или усталость, а каждый второй опрошенный отмечал неудобство имеющихся или отсутствие средств индивидуальной защиты (СИЗ) (рис. 3).

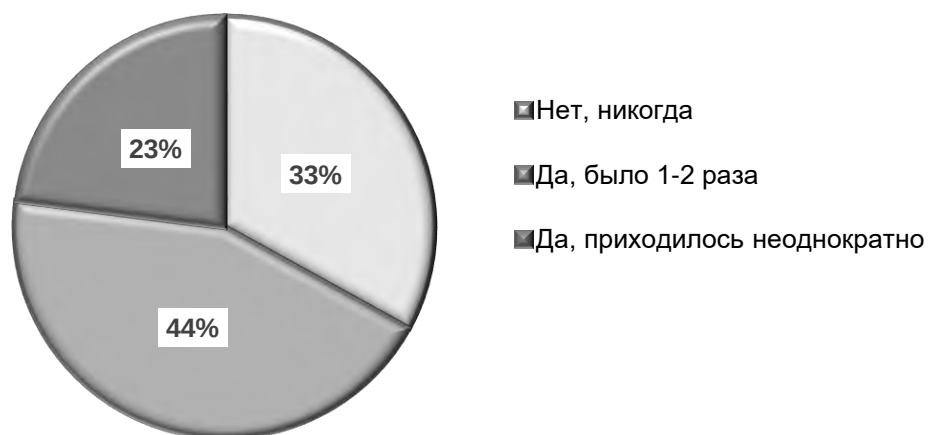


Рис. 2. Частота нарушений инструкции по охране труда (по данным анкетирования)



Рис. 3. Основные причины нарушений инструкции по охране труда (по данным анкетирования)

Хронометраж рабочих операций и наблюдения за действиями бригад позволили зафиксировать следующие повторяющиеся ситуации, создающие угрозу безопасности:

- сокращение времени на подготовительные операции: у 4 из 6 бригад наблюдалось стремление быстрее начать бурение за счет экономии времени на проверке оборудования, в частности, проверка срабатывания противовыбросового оборудования выполнялись поверхностно (только визуально);
- пренебрежение средствами индивидуальной защиты: на 5 объектах зафиксировано, что отдельные члены бригады (преимущественно с большим стажем) работали без защитных очков при выполнении слесарных работ, объясняя это тем, что «очки мешают и запотевают»;

– опасные приемы при спускоподъемных операциях: в 4 случаях зафиксировано нахождение людей в опасной зоне при подъеме свечей (под бурильной колонной), что является грубейшим нарушением.

На основе результатов проведенного исследования, выявившего конкретные проблемы организации работ, поведения персонала и состояния оборудования, разработаны практические мероприятия по повышению безопасности ведения буровых работ.

Анализ инцидентов при бурении пилотного ствола (43 % от общего числа) показал, что значительная часть травм связана с внезапными механическими нагрузками при заклинивании долота в породе. Традиционные методы защиты (контроль за моментом вращения) часто срабатывают с запозданием.

Новым решением является применение динамометрических модулей с функцией автоматической блокировки обратного удара¹. Данное устройство встраивают в буровую установку и при заклинивании инструмента оно мгновенно блокирует опасный отдающий удар, который может привести к тяжелым травмам буровой бригады. Для условий ЗБС, где риск прихватов и заклинивания повышен, применение таких модулей представляется крайне актуальным [5, 6].

Проведенное анкетирование выявило критический фактор аварийности – выполнение работ в условиях сжатых сроков (78 % нарушений) и прямое давление со стороны мастера или подрядчика (37 % нарушений). В таких условиях работник оказывается перед ложным выбором: остановить процесс из-за сомнений в безопасности, но сорвать график и понести наказание, либо продолжить работу, рискуя здоровьем. Традиционная иерархическая культура, где приказ мастера не обсуждается, напрямую провоцирует аварийность.

Для разрешения этого противоречия предлагается внедрение корпоративной системы «Стоп-работа». Ключевое отличие предлагаемого подхода от действующих регламентов заключается в наделении любого работника, независимо от должности, не просто правом, а обязанностью немедленно остановить работы при любых сомнениях в безопасности.

Разработка внутреннего положения, гарантирующего, что остановка работ по инициативе сотрудника не может служить основанием для дисциплинарного взыскания, лишения премии или какой-либо дискриминации, аннулирует рычаги давления со стороны руководителя. Также остановка работ должна оформляться специальным актом. Возобновление процесса разрешается только после совместного осмотра рабочего места мастером, инженером по охране труда и инициатором остановки, а также устранения выявленного замечания, что исключает формальный подход.

Внедрение системы поощрения (премии) за каждую обоснованную остановку работ, предотвратившую потенциальную аварию или травму, формирует мотивацию к выявлению скрытых рисков, которые не фиксируются приборами.

Предлагаемая система позволяет трансформировать культуру безопасности с «наказательной» на «предупредительную». Она создает производственную среду, в которой сокрытие проблемы ради выполнения плана становится невыгодным, а своевременная остановка работ для устранения угрозы – поощряемым поведением.

¹Патент RU 2852751C1 Российская Федерация, МПК E21B 19/00 (2006.01). Динамометрический модуль для буровой установки / Утробин Б. А., Трухманов Д. С., Дрозденко Ю. В. ; заявитель и ООО «Б.А.» (RU). заявл. 04.07.2024 ; опубл. 24.12.2024, Бюл. № 36.

Это напрямую адресует коренные причины нарушений, выявленные в ходе исследования: хроническую спешку и боязнь противостоять руководству.

Выводы. Проведенное исследование, основанное на анализе реальной промысловой документации, натурных наблюдениях и анкетировании персонала, позволило достичь поставленной цели – выявить основные причины аварийности при выполнении работ по ЗБС и разработать комплекс новых мероприятий по обеспечению безопасности персонала.

Разработанные мероприятия адресованы широкому кругу специалистов – от буровых бригад до проектировщиков и производителей оборудования. Их внедрение позволяет снизить травматизм по отдельным видам рисков; исключить формальный подход к безопасности через новые форматы обучения и контроля; получить экономический эффект за счет сокращения простоев и аварий.

Предложенные мероприятия могут применяться при строительстве новых скважин, капитальном и подземном ремонте, в геологоразведке и в использующих буровое оборудование смежных отраслях (горное дело, энергетика, строительство).

Список литературы / References

1. Проходка в бурении в РФ может вырасти после 2030 года до 35 млн м в год. [Электронный ресурс]. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/25071581> (дата обращения 10.02.2026).

[Drilling in Russia may increase to 35 million meters per year after 2030]. Available at: <https://tass.ru/ekonomika/25071581> (accessed 10.02.2026). (In Russian)

2. Информация об авариях, произошедших на предприятиях, подконтрольных территориальным органам Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/index.php> (дата обращения 11.02.2026).

[Information about accidents that occurred at enterprises under the control of the territorial bodies of the Federal Service for Environmental, Technological, and Nuclear Supervision]. Available at: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/index.php> (accessed 11.02.2026). (In Russian)

3. Шлеин, Г. А. Анализ причин осложнений при зарезке и креплении боковых стволов скважин / Г. А. Шлеин, В. Ю. Егоров, И. Д. Корунов // Молодой ученый. – 2019. – № 46 (284). – С. 72–76.

Shlein, G. A., Egorov, V. Yu., Korunov, I. D. [Analysis of the causes of complications during cutting and fastening of lateral boreholes]. Young scientist, 2019, no. 46 (284), pp. 72-76. (In Russian)

4. Аксенова Н.А., Корабельников М.И., Шедь С.Н., Липатов Е.Ю. Разъединители для снижения потерь времени и оборудования в скважине // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2023. – № 7–8. – С. 44–51.

Aksenova, N. A., Korabelnikov, M. I., Shed, S. N., Lipatov, E. Yu. [Disconnectors for reducing time and equipment losses in the well]. Territorija Neftegaz, 2023, no. 7-8, pp. 44-51. (In Russian)

5. Корабельников, М. И., Бастриков, С. Н., Аксенова, Н. А. Техническое решение по снижению затрат на ликвидацию прихватов буровой колонны в скважине // SOCAR Proceedings. – 2021. – № 2 (спецвыпуск). – С. 47–51. DOI: 10.5510/OGP2021SI200555.

Korabelnikov, M. I., Bastrikov, S. N., Aksenova, N. A. [The technical solution to reduce the cost of eliminating the seizure of the drill string in the well]. SOCAR Proceedings, 2021, Special Issue, no. 2, pp. 47-51. DOI: 10.5510/OGP2021SI200555. (In Russian)

6. Comprehensive Guide to Uphole Brake Safety in Underground Mining. Discovery Alert, 2026. – Available at: <https://discoveryalert.com.au/uphole-brake-underground-drilling-safety-2026/> (accessed 27.02.2026). (In English)

Дата поступления рукописи 17.03.2026
Рекомендовано к публикации канд. техн. наук А. В. Мавроди

Nail Akhiyarovich Abdullin, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor; e-mail: 1_jane@mail.ru
Marsel Ralifovich Mukimov, master's student; e-mail: mukimovmarsel@yandex.ru
Ufa State Petroleum Technological University
450062, Ufa, Matveya Pinskogo St., 4. Phone: +7 (347) 242-03-70

ACCIDENT CAUSES AND DEVELOPMENT OF SAFETY MEASURES FOR PERSONNEL DURING SIDETRACKING OPERATIONS

Objective. To identify the primary causes of accidents and develop a comprehensive set of measures to ensure personnel safety during sidetracking operations based on the analysis of field data.

Methods. A retrospective analysis of documentation and incident investigation reports for the period 2024–2025, on-site observations of drilling crew operations, an anonymous survey of 48 workers, and the application of the Bow-Tie risk analysis method for modeling critical accident scenarios.

Results. It was established that the highest number of incidents (43 %) occur during the new hole drilling phase, with 70 % of cases resulting from a combination of technological violations and human factors. The survey indicated that 67 % of respondents had violated occupational safety instructions, primarily due to tight deadlines (78 %) and fatigue (61 %). Based on the identified patterns, a set of personnel safety measures was developed, encompassing both technical and organizational solutions.

Scientific Novelty. The novelty lies in the comprehensive application of quantitative and qualitative risk assessment methods to identify systemic causes of accidents during sidetracking and to justify the implementation of technical solutions not previously applied systematically in sidetracking operations (such as load cells with anti-kickback device locking systems, automatic pipe string braking systems), as well as an organizational solution — the «Stop-Work Authority» system, which empowers and obligates personnel to halt operations when safety is in doubt, thereby directly minimizing the impact of violation factors identified during the survey.

Practical Significance. The developed measures enable a reduction in injuries and accidents, decrease non-productive time, and can be utilized by drilling contractors, design institutes, and occupational safety departments of oil and gas enterprises.

Keywords: *sidetracking; drilling; industrial safety; oil and gas production; accident rate.*

For citation: Abdullin N. A., Mukimov M. R. Accident causes and development of safety measures for personnel during sidetracking operations. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 80-87. EDN AHKGTB

III. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

УДК 622.817:622.831

Геннадий Петрович Стариков, д-р техн. наук, профессор, научный руководитель;

e-mail: ifgpdnr@mail.ru

Ярослав Витальевич Шажко, канд. техн. наук, зам. директора по науке; e-mail: syarilo@mail.ru

Андрей Леонидович Касьяненко, канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотр.;

e-mail: kasianenco@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Институт физики горных процессов»

283048, г. Донецк, ул. Розы Люксембург, 72. Тел.: +7 (856) 311-69-33

ПРОГНОЗ ДАВЛЕНИЯ МЕТАНА В СТРУКТУРЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Цель. Повышение достоверности прогноза выбросоопасности угольного пласта на основе измерения давления и температуры газа, выделяющегося из отобранной пробы угля в герметичном контейнере (с учетом дроссель-эффекта) для определения пластового давления метана и газоносности угольного пласта, а также безопасного ведения работ при его отработке.

Методы. Анализ и обобщение результатов теоретических и натурных исследований по определению давления метана в структуре угольного пласта.

Результаты. Предложены аналитические зависимости для расчета давления метана в контейнере на начальной стадии газовыделения (корневой закон) и на более поздних этапах (экспоненциальный спад). Получены формулы для перехода от давления в контейнере к пластовому давлению с учетом параметров эксперимента (объем контейнера, пористость угля, время отбора пробы). Показано, что измерение температуры выделяющегося газа позволяет учесть дроссель-эффект.

Научная новизна. Установлено, что при известном коэффициенте дроссель-эффекта и измеренном перепаде температур можно рассчитать перепад давления, обусловленный дросселированием, и скорректировать результаты измерений для уточнения пластового давления и газоносности.

Практическая значимость. Разработанная методика может быть использована для оперативной оценки газоносности и выбросоопасности угольных пластов непосредственно в шахтных условиях (по пробам бурового штыба или отбитого угля), а также для повышения безопасности ведения работ при отработке газовых пластов угля.

Ключевые слова: метан; угольный массив; пластовое давление; газоносность; диффузия; дроссель-эффект; кинетика дегазации; массоперенос.

Для цитирования: Стариков Г. П., Шажко Я. В., Касьяненко А. Л. Прогноз давления метана в структуре угольного пласта // Научный вестник НИИ «Респиратор» – 2026. – № 3 (63). – С. 88–94. – EDN HAXNEN

Постановка проблемы. В настоящее время разработано большое число теоретических моделей, описывающих кинетику выделения газов из каменного угля. Разнообразие подходов к данной проблеме и полученных результатов обусловлено тем, что каждая модель учитывает лишь ее отдельные аспекты [1]. Рассматривая процессы выделения газа (прежде всего, метана) непосредственно из нарушенного и ненарушенного пласта и оценивая скорость накопления опасных концентраций газа в выработках, бункерах, наземных и подземных сооружениях, можно получить информацию не только о газоносности, но и о степени нарушенности пласта, и, соответственно, выбросоопасности. Поскольку наблюдаемое выделение метана из угля является результатом совокупности физических процессов, оценка

параметров данных процессов позволяет судить о возможных характеристиках газовыделения и прогнозировать ход его протекания в целом.

Таким образом, исследование и оценка давления метана в структуре угольного пласта является актуальной научно-технической задачей.

Анализ последних исследований. Существующие методы прогноза содержания метана в угле основаны на фиксировании интенсивности выделения газа из выбуренной пробы угля [2–4]. Это позволяет получить количество метана, содержащегося в 1 т угля, которое может выделиться при давлении окружающей атмосферы 0,1 МПа. Если эта величина составляет 8–9 м³/т и более, то угольный пласт может обладать достаточной потенциальной энергией, чтобы при соответствующих его свойствах произошел внезапный выброс угля и газа [5]. Следует отметить, что стоимость противовыбросных мероприятий высока, как высока и стоимость мероприятий по ликвидации последствий внезапного выброса угля и газа [6].

Методология измерения содержания метана в угольных пластах¹ (на основе отобранных проб и образцов угля), включает два типа прямых методов измерения: обычная десорбция (медленная десорбция) и быстрая десорбция лабораторных проб угля. Лабораторные методы изучения кинетики массопереноса в угольном веществе часто основаны на насыщении метаном проб раздробленного (измельченного) угля и анализе последующей дегазации [7–9]. Они позволяют определить структурные характеристики угля (пористость), параметры массопереноса (коэффициенты диффузии и фильтрации метана в угле) и момент времени, когда механизм массопереноса изменяется. Однако данные методы могут дать только опосредованное представление о метаноносности угольного вещества, поскольку до проведения измерений уголь подвергается существенной многоступенчатой обработке (измельчение, просеивание с целью выделения гранул определенного размера, нагрев и высушивание и т. д.). Оценить первоначальное содержание метана после подобной обработки не представляется возможным.

Для определения содержания метана в природном угле целесообразно поместить отторгнутый от массива уголь (раздробленный в процессе добычи) в закрытый контейнер и измерить давление и температуру выделяющегося газа. Эти параметры уже будут нести информацию о количестве метана в разрабатываемом пласте.

Цель. Повышение достоверности прогноза выбросоопасности угольного пласта на основе измерения давления и температуры газа, выделяющегося из отобранной пробы угля в герметичном контейнере (с учетом дроссель-эффекта) для определения пластового давления метана и газоносности угольного пласта, а также безопасного ведения работ при его отработке.

Результаты исследований. Одна из наиболее простых моделей, описывающих кинетику дегазации дробленого угля, представлена в [10]. Она описывает диффузионное перемещение молекул метана, содержащегося в газообразном виде в закрытых порах угольного вещества, в адсорбционном слое на их поверхности и в твердом растворе. Выделение метана в замкнутый объем, в котором находится дробленый уголь, характеризуется изменением давления газа в сосуде:

¹ ГОСТ Р 70830-2023. Горное дело. Метод определения содержания метана в угольных пластах : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден приказом Росстандарта от 26.07.2023 г. № 580-ст : дата введения 2023-12-01.

$$P(t) = P_0 - \frac{1}{3g+1} \left(P_0 - \frac{c_0 T}{v} \right) + 2g \left(P_0 - \frac{c_0 T}{v} \right) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\exp[-\pi^2 (k + \beta_k)^2 \tau]}{\pi^2 g^2 (1 + \beta_k)^2 + 3g + 1} \quad (1)$$

где P_0 – начальное давление метана в сосуде, Па;

c_0 – средняя концентрация метана в угле в начальный момент времени, м³/м³;

T – температура (в энергетических единицах), Дж;

v – растворимость метана, м³/м³;

β_k – корни характеристического уравнения [10];

τ – безразмерное время:

$$\tau = t D_{\text{eff}} / r^2,$$

где r – радиус частицы угля, м;

t – время газовой выделения в контейнер, с;

$D_{\text{eff}} = D / (1 + \gamma / v)$ – эффективный коэффициент массопереноса, м²/с;

D – коэффициент диффузии метана в воздухе, м²/с;

$g = \frac{V_c}{3V(v + \gamma)}$ – описывает конфигурацию эксперимента:

V_c – свободный объем, оставшийся в контейнере после засыпки угля, м³;

V – объем насыпанного угля, м³;

γ – пористость угля, м³/м³.

Давление метана в сосуде на начальной стадии газовой выделения при $t \ll r^2/D$ следует корневому закону:

$$P(\tau) = P_0 - \frac{2}{\pi g} \left(P_0 - \frac{c_0 T}{v} \right) \sqrt{\tau}. \quad (2)$$

Полагая начальное давление метана равным нулю и зная промежуток времени, прошедшего с момента отторжения угля от пласта, можно определить газоносность пласта по исходной концентрации в нем метана c_0 . В данном случае ее можно трактовать как среднее содержание метана в единице объема, не уточняя его фазовое состояние. Поскольку в любой момент времени газовой выделения является комплексным процессом, включающим в себя адсорбцию и десорбцию на поверхности пор, диффузию газовых молекул в твердом теле и их фильтрацию по системе открытых пор, можно рассматривать обобщенный массоперенос, описываемый уравнением диффузии с эффективным коэффициентом.

Для удобства можно перейти к пластовому давлению метана P_{nl} :

$$P(\tau) = P_0 - \frac{2}{\pi g} (P_0 - P_{nl}) \sqrt{\tau}. \quad (3)$$

Максимально достижимое давление метана в контейнере запишем в виде:

$$P_{\infty} = P_0 - \frac{1}{3g+1} \left(P_0 - \frac{c_0 T}{v} \right). \quad (4)$$

В большинстве практических случаев корневой этап изменения давления газа сменяется экспоненциальным [10].

Подставляя значение τ в уравнение (3), получим:

$$P(t) = P_0 - \frac{2}{\pi g} (P_0 - P_{nl}) \sqrt{\frac{t D_{eff}}{r^2}}. \quad (5)$$

При условии $P_0 = 0$ изменение давления в сосуде имеет вид:

$$P(t) = \frac{2}{\pi g} P_{nl} \sqrt{\frac{t D_{eff}}{r^2}}. \quad (6)$$

Таким образом, измерив давление в контейнере в определенный момент времени после отбора пробы, можно оценить пластовое давление метана. Если датчик в контейнере определяет не давление, а поток выделяющегося газа, то его можно записать как:

$$J = \frac{V_c}{\pi g} \frac{P_{nl}}{P_{atm}} \sqrt{\frac{r^2}{D_{eff}}} t^{-1/2}. \quad (7)$$

Соответственно,

$$P_{nl} = \frac{\pi g}{V_c} J P_{atm} \sqrt{\frac{D_{eff} t}{r^2}}. \quad (8)$$

Однако, если регистрация потока началась через какое-то время после запечатывания контейнера, то для измерения пластового давления необходимо использовать данные нестационарной стадии истечения газа из сосуда. Тогда аппроксимация экспериментальных данных по потоку при помощи обратнокорневой зависимости дает возможность определить величину P_{nl} .

Другим параметром, позволяющим характеризовать газоносность угля, является температура выделяющегося газа из фрагментированного угля, которое может сопровождаться видимым проявлением эффекта Джоуля–Томсона, т. е. понижением температуры газа при стационарном адиабатическом дросселировании – медленном протекании газа под действием постоянного градиента давлений сквозь пористую перегородку. В определенной степени угольное вещество, содержащее развитую систему открытых и закрытых пор и каналов, играет роль подобной перегородки.

При конечной разности давлений до и после пробки (P_1 и P_2 , соответственно) разность температур (интегральный дроссель-эффект) определяют по формуле:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \int_{P_1}^{P_2} \frac{1}{c_p} \left[T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V \right] dP = \int_{P_1}^{P_2} a_H dP, \quad (9)$$

где c_p – удельная изобарная теплоемкость реального газа (для метана при нормальных условиях $c_p = 2,23$ кДж/(кг·К)).

Тогда в упрощенном виде зависимость (9) можно записать:

$$\Delta T = a_H \Delta P. \quad (10)$$

Подынтегральную функцию a_H (дифференциальный дроссель-эффект), как правило, определяют экспериментально, и для углеводородных природных газов a_H имеет порядок $3 \cdot 10^{-6}$ К/Па.

Таким образом, определив давление и температуру метана в теплоизолированном сосуде, рассчитывают исходное давление в поровом пространстве. В нашем случае:

$$P_{nl} = P + \frac{\Delta T}{a_H} \quad (11)$$

Начальные температуры угля и содержащегося в нем газа должны быть определены в момент отбора пробы. Для уточнения расчета представляется целесообразным, по возможности, предварительно определить величину дифференциального дроссель-эффекта для угля добываемой марки в лабораторных условиях.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Предложен комплексный подход, сочетающий диффузионную модель дегазации дробленого угля и учет дроссель-эффекта при истечении газа, что позволяет повысить достоверность определения исходного пластового давления по данным, полученным в лабораторных или полевых условиях. Использование температуры как дополнительного информативного параметра дает возможность оценить вклад собственно дегазации и термодинамических эффектов (охлаждение газа при дросселировании). Учет дроссель-эффекта повышает точность определения пластового давления, снижая погрешность, связанную с температурными изменениями при истечении газа. Разработанная методика может быть использована для оперативной оценки газоносности и выбросоопасности угольных пластов, а также безопасности ведения работ по их отработке.

Исследование проведено в рамках выполнения фундаментальной научно-исследовательской работы 1025031700090-4-2.7.5 «Кинетика накопления и массоперенос метана в замкнутой трещиновато-пористой структуре угольного пласта при техногенном воздействии на горный массив».

Список литературы / References

1. Xu W., Li J., Wu X. et al. Desorption hysteresis of coalbed methane and its controlling factors: a brief review. *Front. Earth Sci.* 2021, 15, pp. 224-236. DOI: 10.1007/s11707-021-0910-0 (In English)
2. Галемский, П. В. Применение десорбометрии при контроле эффективности защитного действия / П. В. Галемский, В. А. Канин // Труды университета. – 2010. – № 4 (41). – С. 34–36.
Galemskiy, P. V., Kanin, V. A. *Primenenie desorbometrii pri kontrole effektivnosti zashchitnogo deistviya. Trudy universiteta*, 2010, no. 4(41), pp. 34-36. (In Russian)
3. Карчевский, А. Л. Расчет давления газа в закрытой емкости с угольным шламом при изотермической десорбции / А. Л. Карчевский, Л. А. Назаров, Л. А. Назарова // Сибирский журнал промышленной математики. – 2015. – Т. 18, № 1(61). – С. 45–55. – DOI 10.17377/sibjim.2015.18.104.
Karchevskii, A.L., Nazarov, L.A., Nazarova, L.A. [Calculation of gas pressure in a closed vessel with coal slack under isothermal desorption] *Sibirskii Zhurnal Industrial'noi Matematiki*, 2015, vol. 18, no. 1(61), pp. 45-55. DOI 10.17377/sibjim.2015.18.104. (In Russian)
4. Chen Y., Liu D., Yao Y et al. Dynamic permeability change during coalbed methane production and its controlling factors. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2015, 25, 335-346. DOI: 10.1016/j.jngse.2015.05.018 (In English)

5. Обеспечение безопасности разработки выбросоопасных угольных пластов на основе их глубокой дегазационной подготовки / Г. П. Ермак, С. Г. Никитин, С. В. Сластунов, К. С. Коликов // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 8. – С. 32–35.

Ermak, G. P., Nikitin, S. G., Slastunov, S. V., Kolikov, K. S. *Obespechenie bezopasnosti razrabotki vybrosoopasnykh ugolnykh plastov na osnove ikh glubokoy degazatsionnoy podgotovki*. Occupational safety in industry, 2014, no. 8, pp. 32-35. (In Russian)

6. О влиянии форм связи метана с угольной матрицей на газодинамические явления, возникающие при подземной разработке угольных пластов / В. Г. Смирнов [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2017. – № 1. – С. 34–41.

Smirnov, V. G., Dyrdin, V. V., Ismagilov, Z. R., Kim, T. L., Manakov, A. Yu. [On the influence of the forms of the connection of methane with the coal matrix on the gas dynamic phenomena arising in the underground development of coal seams]. Bulletin of research center for safety in coal industry (Industrial safety), 2017, no. 1, pp. 34-41. (In Russian)

7. Xu H., Qin Y., Yang D. et al. Modeling of diffusion kinetics during gas adsorption in a coal seam with a dimensionless inversion method. Fuel. 326 (2022). 125068. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.125068 (In English)

8. Тайлаков, О. В. Особенности методов определения газоносности угольных пластов / О. В. Тайлаков, А. Н. Кормин // Научный журнал Российского газового общества. – 2019. – № 1 (20). – С. 35–38.

Tailakov, O. V., Kormin, A. N. [Peculiarities of methods for determining the gas content of coal seams]. Scientific journal of Russian gas society, 2019, no. 1(20), pp. 35-38. (In Russian)

9. Методические основы определения давления и газоносности угольных пластов / Г. П. Стариков, Я. В. Шажко, О. Г. Худолей, А. В. Кравченко // Физика и техника высоких давлений. – 2018. – Т. 28, № 3. – С. 40–45.

Starikov, G. P., Shazhko, Ya. V., Hydoley, O. G., Kravchenko, A. V. [Methodical bases of determination of pressure and gas content of coal beds]. Physics and high pressure technology, 2018, no. 28 (3), pp. 40-45. (In Russian)

10. Мельник, Т. Н. Изменение давления газа в замкнутом объеме, содержащем пористое твердое тело / Т. Н. Мельник, Э. П. Фельдман, Т. А. Василенко // Физика и техника высоких давлений. – 1999. – Т. 9, № 1. – С. 91–96.

Melnik, T. N., Feldman, E. P., Vasilenko, T. A. [Gas pressure change in a closed volume containing a porous solid]. Physics and high pressure technology, 1999, no. 9 (1), pp. 91-96. (In Russian)

Дата поступления рукописи 25.06.2026

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым

Gennady Petrovich Starikov, Dr. of Tech. Sci., Professor, Scientific Supervisor; e-mail: ifgpdnr@mail.ru

Yaroslav Vitalievich Shazhko, Cand. of Tech. Sci., Deputy Director of Science; e-mail: syarilo@mail.ru

Andrey Leonidovich Kasyanenko, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, Senior Researcher;

e-mail: kasyanenco@mail.ru

Institute of Physics of Mining Processes

283048, Donetsk, Rosa Luxemburg St., 72. Phone: +7 (856) 311-69-33

ESTIMATION OF METHANE PRESSURE IN THE COAL SEAM STRUCTURE

Objective. Development and substantiation of a methodology for determining the reservoir pressure of methane and the gas content of a coal seam based on measuring the pressure and temperature of gas released from a selected coal sample in an airtight container (considering the throttle effect) to increase the reliability of the emission hazard forecast.

Methods. Analysis and generalization of the results of theoretical and field studies on the determination of methane pressure in the structure of the coal seam.

Results. Analytical dependences are proposed for calculating the methane pressure in a container at the initial stage of gas release (root law) and at later stages (exponential decline). Formulas for the transition from container pressure to reservoir pressure are obtained, considering the experimental parameters (container volume, coal porosity, sampling time). It is shown that measuring the temperature of the released gas makes it possible to consider the throttle effect.

Scientific novelty. It has been established that with a known coefficient of the throttle effect and a measured temperature difference, it is possible to calculate the pressure drop caused by throttling and adjust the measurement results, which makes it possible to clarify reservoir pressure and gas content.

Practical significance. The developed methodology can be used for operational assessment of the gas content and emission hazard of coal seams directly in mine conditions (based on samples of a drill pin or beaten coal).

Keywords: methane; coal mass; reservoir pressure; gas content; diffusion; throttle effect; degassing kinetics; mass transfer.

For citation: Starikov G. P., Shazhko Ya. V., Kasyanenko A. L. Estimation of methane pressure in the coal seam structure. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 88-94. EDN HAXNEN

УДК 614.842.6:004.023

Максим Олегович Баканов, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры; e-mail: mask-13@mail.ru
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26. Тел. +7 (920) 347-39-57

Борис Борисович Гринченко, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры;
e-mail: grinchenko.borya@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»
153040, Ивановская область, г. Иваново, пр. Строителей, 33. Тел. +7 (930) 340-19-60

Михаил Александрович Мареев, зам. нач. отдела Департамента спасательных формирований¹;
преподаватель²; соискатель ученой степени³; e-mail: mareev.mikhail@mail.ru

¹Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
121357, г. Москва, ул. Ватутина, 1. Тел. +7 (920) 016-54-15

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Академия государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий»
129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4

³Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России
153040, Ивановская область, г. Иваново, пр. Строителей, 33.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕРВАЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ НА ОСНОВЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ТЕХНИКИ В ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ

Цель. Математическое обоснование параметров интервального охлаждения резервуаров для повышения эффективности тушения пожаров нефтепродуктов на объектах топливно-энергетического комплекса.

Методы. Исследование базируется на стохастической пространственно-распределенной модели динамики ресурсных потоков, разработанной с применением метода изоморфных потоковых моделей, включающей дифференциальное уравнение движения пожарной техники и алгоритм управления тепловым балансом стенки резервуара.

Результаты. Обоснованы параметры цикла «подача воды – пауза» для резервуара РВС-5000: допустимое время паузы – 640 с, время подачи – 300 с. Верификация модели по данным реальных пожаров показала расхождение не более 14 %, а расчетная экономия воды при интервальном охлаждении составила 68 % по сравнению с непрерывным режимом.

Научная новизна. Впервые предложено математическое обоснование тактики интервального охлаждения резервуаров на основе стохастической модели теплового воздействия, случайного возмущения и пространственного распределения ресурсов в резервуарном парке.

Практическая значимость. Разработанные модели и алгоритмы создают научно-методическую основу для проектирования опытного образца пеноподъемника и обоснования тактических режимов работы насосных установок, обеспечивая существенное снижение расхода воды при тушении затяжных пожаров.

Ключевые слова: интервальное охлаждение; резервуарный парк; стохастическая модель; метод изоморфных потоковых моделей; дифференциальное уравнение техники; пространственно-распределенная система; тактика тушения пожаров.

Для цитирования: Баканов М. О., Гринченко Б. Б., Мареев М. А. Обоснование параметров интервального охлаждения резервуаров на основе стохастической модели динамики техники в пространственно-распределенной среде // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 3 (63). – С. 95–104. – EDN BDTHEH

Постановка проблемы. Тушение пожаров на резервуарах и в резервуарных парках на объектах топливно-энергетического комплекса (ТЭК) характеризуется высокой продолжительностью боевых действий пожарно-спасательных подразделений (ПСП), которая может достигать нескольких суток¹. Ключевым фактором, ограничивающим эффективность тушения, является дефицит огнетушащих веществ, в особенности воды, которая подается на охлаждение горящего и соседних резервуаров в течение всего периода тушения пожара.

Традиционная тактика предписывает непрерывное охлаждение с интенсивностью не менее $0,5 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$ [1]. При площади поверхности резервуара типа РВС-5000 (диаметр 22,8 м, высота 11,9 м) расход воды на охлаждение одного резервуара может достигать 50–80 л/с, а при горении нескольких резервуаров – 240–320 л/с [2]. В условиях ограниченного водоснабжения, а иногда и обрыва бесперебойной подачи огнетушащих веществ, характерного для удаленных объектов ТЭК, обеспечение такого расхода становится невыполнимым [3].

Альтернативой является интервальное охлаждение, то есть циклическое чередование фаз подачи воды и контролируемых пауз, в течение которых стенка резервуара нагревается, но не достигает критической температуры для деформации (конструкционная сталь: 250–300 °С – температура начала заметного снижения механических свойств при длительном нагреве) [4, 5]. Однако данный тактический прием до настоящего времени не имел строгого формализованного обоснования (рис. 1).

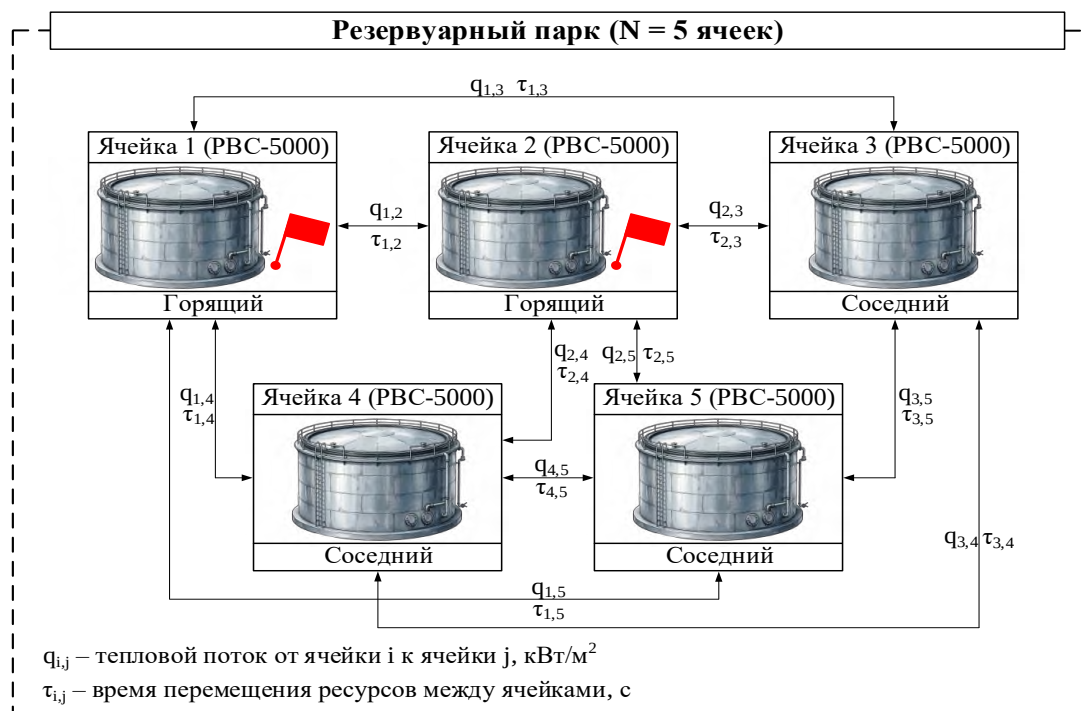


Рис. 1. Пространственная дискретизация резервуарного парка

¹ Данные Главного управления пожарной охраны МЧС России по состоянию на 1 апреля 2026 г.

В настоящей работе впервые предложено математическое обоснование параметров интервального охлаждения на основе стохастической пространственно-распределенной модели, разработанной с применением метода изоморфных потоковых моделей. Этот метод основан на математическом изоморфизме уравнений динамики распределенных систем различной физической природы и позволяет строго формализовать процессы распределения ресурсов в системе тушения пожара.

Цель исследования. Математическое обоснование параметров интервального охлаждения резервуаров для повышения эффективности тушения пожаров нефтепродуктов на объектах топливно-энергетического комплекса.

Методологическая основа исследования. Теоретической базой исследования послужили положения метода изоморфных потоковых моделей, адаптированного для задач пожаротушения [6]. В рамках этого метода процесс тушения пожара представляется в виде распределенной динамической системы, где функции целеполагания соответствуют приоритету боевой задачи, а интенсивности ресурсных потоков – потокам сил и средств [7].

Метод изоморфных потоковых моделей базируется на фундаментальном принципе математического изоморфизма процессов в системах различной физической природы. Сущность метода заключается в установлении строгих соответствий между переменными и параметрами электрических, гидравлических и организационных систем тушения пожара, что позволяет заменить анализ сложной организационной схемы тушения пожара расчетом эквивалентной динамической модели [8].

Для последовательной электрической RLC-цепи согласно второму закону Кирхгофа справедливо уравнение:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = U(t), \quad (1)$$

где q – электрический заряд, Кл;

L – индуктивность, Гн;

R – сопротивление, Ом;

C – емкость, Ф;

$U(t)$ – приложенное напряжение, В.

Для гидравлической системы, содержащей инерционный элемент, сопротивление и емкость, справедливо уравнение:

$$L_{\Gamma} \frac{d^2 V}{dt^2} + R_{\Gamma} \frac{dV}{dt} + \frac{1}{C_{\Gamma}} V = P(t), \quad (2)$$

где V – объем жидкости, м³;

L_{Γ} – гидравлическая индуктивность, Па·с²/м³;

R_{Γ} – гидравлическое сопротивление, Па·с/м³;

C_{Γ} – гидравлическая емкость, м³/Па;

$P(t)$ – перепад давления, Па.

Математическая идентичность уравнений (1) и (2) обосновывает перенос аппарата теории цепей в гидравлику, и далее – в область тушения пожаров через метод изоморфных потоковых моделей. В настоящем исследовании применяется потенциальная аналогия, при которой электрическое напряжение (U) соответствует

перепаду гидравлического давления (ΔP), а сила тока (I) – объемному расходу жидкости (Q) [9, 10].

На основе метода изоморфных потоковых моделей установлены следующие соответствия (рис. 2):

- функция целеполагания – приоритет боевой задачи ($U_{\text{орг}}$);
 - интенсивность ресурсного потока – поток сил и средств ($I_{\text{рес}}$);
 - коэффициент операционных потерь – операционное сопротивление ($R_{\text{оп}}$);
 - буферный аккумулятор ресурса – буферный запас огнетушащих веществ (C_6);
 - коэффициент инерции управляющей системы – организационная инерция ($L_{\text{орг}}$).
- Все параметры базируются на действующих нормативных правовых актах РФ.

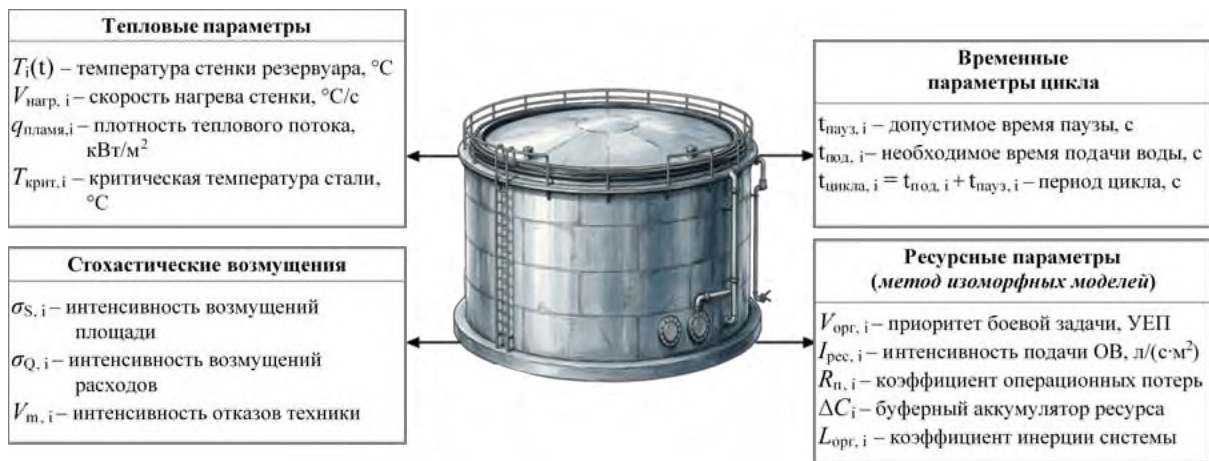


Рис. 2. Параметры, рассчитываемые для каждого резервуара (ячейки, i)

Стохастическая модель динамики техники. Для обоснования требований к надежности и живучести пожарной техники при интервальном охлаждении использовано дифференциальное уравнение динамики техники, входящее в стохастическую пространственно-распределенную модель ресурсных потоков, разработанную на основе метода изоморфных потоковых моделей:

$$dM_i^{tt} = \left(\sum_{j \neq i} \frac{M_j^{tt} \cdot u_{m,ji}(t)}{\tau_{ji}^{(m)}} - \sum_{j \neq i} \frac{M_i^{tt} \cdot u_{m,ij}(t)}{\tau_{ij}^{(m)}} - \mu_i^{tt}(t) \right) dt + \sigma_{M,i}^{tt} \cdot dW_{M,i}^{tt}(t) + z \cdot dJ_{M,i}^{tt}(t), \quad (3)$$

где M_i^{tt} – количество единиц техники типа tt в ячейке i (в данной задаче – пеноподъемников);

$\tau_{ij}^{(m)}$ – среднее время перемещения между ячейками i и j , с;

$u_{m,ij}(t) \in [0,1]$ – управляющий сигнал на перемещение (доля техники, направляемой из i в j);

$\mu_i^{tt}(t) = \gamma_m \cdot \max(0, T_i - T_{cr,m})$ – интенсивность потерь техники от теплового воздействия, ед./с;

R_i^{tt} – интенсивность прибытия резерва (ремонт, подмена), ед./с;

$\sigma_{M,i}^{tt}$ – интенсивность диффузионных возмущений (случайные задержки), ед./с^{1/2};

dW_i^{tt} – приращение винеровского процесса;

$\tilde{N}(dt, dz)$ – компенсированная пуассоновская мера (моделирует отказы).

Для практического обоснования требований к насосной установке уравнение (3) использовалось в упрощенной форме для стационарного режима (перемещения отсутствуют, $dM_i^{tt}/dt \approx 0$): $R_i^{tt} = \mu_i^{tt} + \text{поправка на стохастичу}$.

Смысл соотношения: интенсивность ввода резерва (ремонт, замена) должна компенсировать потери техники от теплового воздействия, иначе количество работающих насосных установок будет неуклонно снижаться.

В основе исследования лежит алгоритм интервального охлаждения. Алгоритм разработан на основе стохастического моделирования теплового баланса стенки резервуара, верифицирован по данным реальных пожаров и включает следующие этапы, представленные на рис. 3.

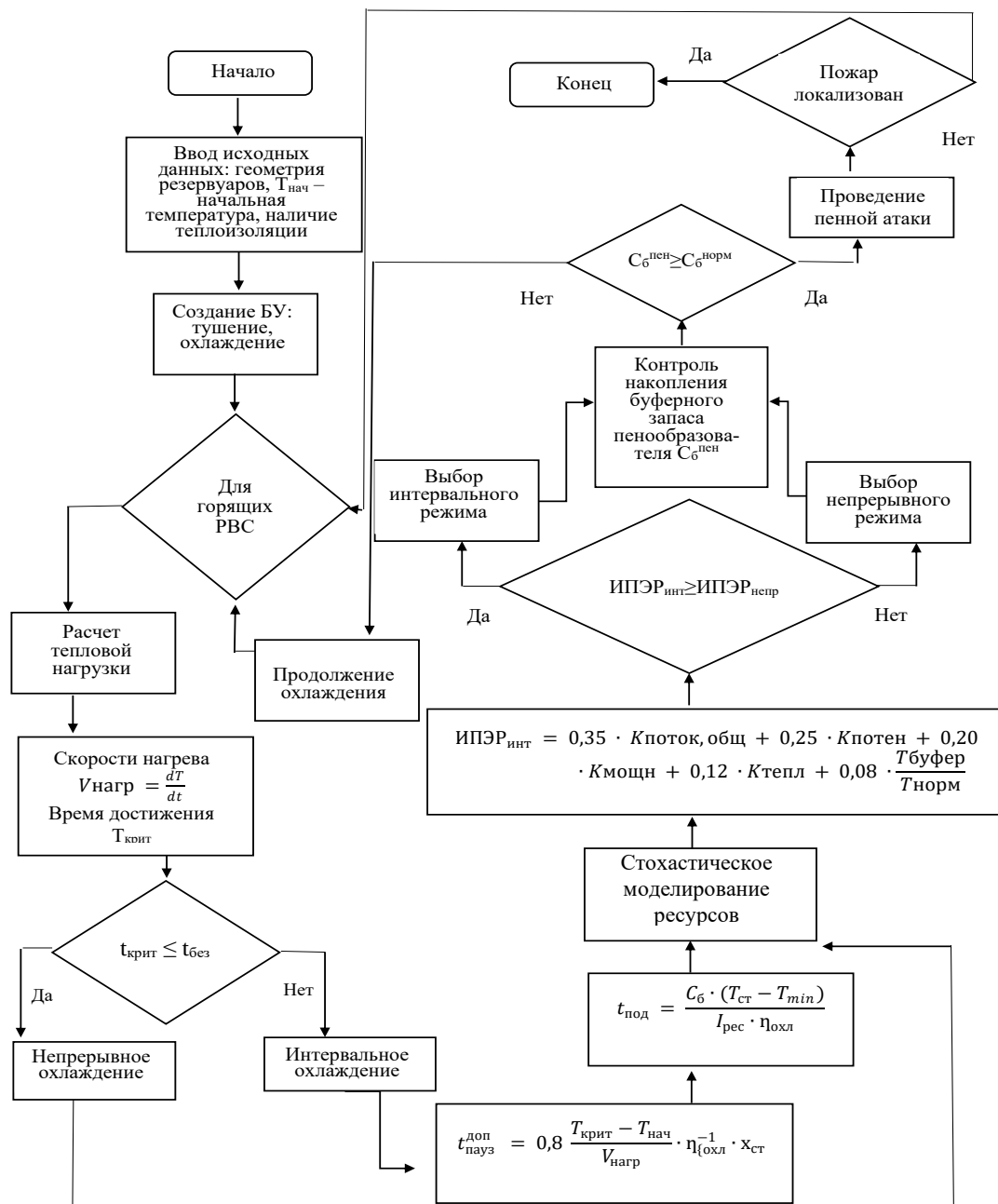


Рис. 3. Блок-схема алгоритма интервального охлаждения резервуара

Допустимое время паузы определяют из условия теплового баланса стенки:

$$t_{\text{пауз}}^{\text{доп}} = \delta \cdot \frac{T_{\text{крит}} - T_{\text{нач}}}{V_{\text{нагр}}} \cdot \eta_{\text{охл}}^{-1} \cdot \chi_{\text{ст}}, \quad (4)$$

где $\delta = 0,8$ – коэффициент гарантийного запаса;

$T_{\text{крит}} = 250\text{--}300$ °С – критическая температура стали;

$T_{\text{нач}}$ – температура стенки в момент прекращения подачи, °С;

$V_{\text{нагр}}$ – скорость нагрева стенки, °С/с;

$\eta_{\text{охл}} = 0,5\text{--}0,9$ – эффективность охлаждения;

$\chi_{\text{ст}} = 0,5\text{--}1,0$ – коэффициент состояния стенки.

Время подачи воды рассчитывают по формуле:

$$t_{\text{под}} = \frac{\rho_{\text{ст}} \cdot c_{\text{ст}} \cdot \delta_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{тек}} - T_{\text{без}})}{\alpha_{\text{вод}} \cdot (T_{\text{ст}} - T_{\text{воды}}) \cdot \eta_{\text{охл}}}, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{ст}}$, $c_{\text{ст}}$, $\delta_{\text{ст}}$ – плотность, теплоемкость и толщина стенки;

$\alpha_{\text{вод}}$ – коэффициент теплоотдачи при орошении.

Тактико-технические требования к параметрам цикла основаны на алгоритме интервального охлаждения и уравнении динамики техники (3).

Алгоритм интервального охлаждения требует циклического изменения расхода: в фазе подачи – номинальный расход (40–100 л/с в зависимости от диаметра резервуара), в фазе паузы – расход, близкий к нулю. Это накладывает ограничения на насосную установку: она должна обеспечивать быстрый выход на режим после паузы (не более 10–15 с) и выдерживать циклические нагрузки.

Расчетную зависимость требуемой производительности $Q_{\text{тр}}$ от геометрии резервуара определяют по формуле:

$$Q_{\text{тр}} = I_{\text{норм}} \cdot S_{\text{охл}} \cdot k_{\text{нер}} \cdot k_{\text{зап}}, \quad (6)$$

где: $I_{\text{норм}} = 0,5$ л/(с·м²) – нормативная интенсивность охлаждения [2];

$S_{\text{охл}}$ – площадь охлаждаемой поверхности резервуара, м²;

$k_{\text{нер}} = 1,2; 1,3$ – коэффициент неравномерности орошения;

$k_{\text{зап}} = 1,1 \dots 1,15$ – коэффициент запаса на износ рукавов.

Учитывая необходимость циклической работы в режиме «подача – пауза» (частые пуски и остановки), а также значения коэффициентов неравномерности орошения $k_{\text{нер}}$ и запаса $k_{\text{зап}}$, номинальная производительность насосной установки должна составлять 100 л/с.

Алгоритм интервального охлаждения требует задания двух временных параметров: $t_{\text{под}}$ (время подачи) и $t_{\text{пауз}}$ (время паузы).

Расчет для резервуара типа РВС-5000 (диаметр 22,8 м, высота 12 м) при $T_{\text{крит}} = 300$ °С; $T_{\text{нач}} = 20$ °С; $V_{\text{нагр}} = 0,5$ °С/с (при тепловом потоке 50 кВт/м²); $\eta_{\text{охл}} = 0,7$; $\chi_{\text{ст}} = 1,0$:

$$t_{\text{пауз}}^{\text{доп}} = 0,8 \cdot \frac{280}{0,5} \cdot \frac{1}{0,7} \cdot 1 = 640 \text{ с}$$

Время подачи $t_{\text{под}} = 300$ с (достижение $t_{\text{мин}} = 100$ °С).

При цикле «300 с охлаждение – 640 с пауза» экономия воды по сравнению с непрерывным охлаждением составляет 68 %.

Результаты расчетов параметров цикла для типовых резервуаров приведены в табл. 1.

Таблица 1

Рекомендуемые параметры цикла интервального охлаждения

Тип резервуара	$t_{\text{под}}$, мин	$t_{\text{пауз}}$, мин	Расход воды, м ³		Экономия, %
			интервальное охлаждение	непрерывное охлаждение	
РВС-1000	30–45	15–20	90–135	150–225	40
РВС-5000	120–150	60–80	720–900	1200–1500	40
РВС-20000	240–300	90–120	1440–1800	2400–3000	40

Примечание. Расчет выполнен для $Q = 100$ л/с, $T_{\text{крит}} = 300$ °С, $\eta_{\text{охл}} = 0,7$.

Верификация предложенного алгоритма выполнена по данным пожаров в резервуарных парках, произошедших в 2025 и 2026 гг.² (табл. 2).

Таблица 2

Результаты верификации модели интервального охлаждения по данным реальных пожаров

Пожар	Режим	Зона замера*	Температура, °С		Относительная погрешность, %
			Согласно мониторингу	Расчетное значение	
№ 1 (Энгельс)	Пауза 30 мин	В	206	192	6,8
		Н	566	528	6,7
	Охлаждение 45 мин	В	107	98	8,4
		Н	227	219	3,5
№ 2 (Приморск)	Пауза 15 мин	В	450	425	5,6
		Н	550	528	4
	Охлаждение 45 мин	В	150	162	8
		Н	220	215	2,3

Примечание. * – В – верх стенки; Н – низ стенки

Пожар № 1 (Энгельсский район) характеризовался горением авиационного керосина в РВС-5000 с уровнем разлива 2,8 м. Мониторинг температур стенки осуществлялся тепловизором Testo 890. В течение первых семи суток применялось непрерывное охлаждение с расходом 120–240 л/с, при этом уровень горючего практически не снижался, далее осуществлен переход к интервальному охлаждению по циклограмме, рассчитанной на основе предложенной модели.

Пожар № 2 (г. Приморск) характеризовался горением нефти в РВС-50000. Измерения температуры производились по четырем сторонам света на трех

² Отчеты о тушении пожаров в резервуарных парках: Энгельсский район (2025 г.), г. Приморск (2026 г.). – Архив Главного управления пожарной охраны МЧС России.

высотных отметках («верх», «середина», «низ»). В ходе тушения реализован цикл «охлаждение 45 минут – пауза 15 минут – охлаждение 45 минут». В фазе паузы температура стенки (нижний пояс) увеличилась с 220 до 550 °С, что соответствует расчетной скорости нагрева $V_{\text{нагр}} \approx 22$ °С/мин. При повторном включении охлаждения температура снизилась до 220 °С за 45 минут.

Расхождение расчетных и экспериментальных значений скорости охлаждения не превысило 9,8 %, скорости нагрева – 9,6 %, безопасного времени паузы – 14,0 %. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных (табл. 2) показало: максимальная относительная погрешность не превышает 14 %, что является приемлемым для РТП и оперативного штаба.

Выводы. На основе стохастической пространственно-распределенной модели, разработанной методом изоморфных потоковых моделей, математически обоснованы параметры интервального охлаждения резервуаров при тушении пожаров на объектах ТЭК.

Установлено, что производительность насосной установки должна составлять 100 л/с с технической возможностью циклического изменения расхода воды в программируемом режиме. Обоснована необходимость внедрения системы управления с поддержкой временных циклов «подача – пауза – подача».

Результаты расчетов показали, что для резервуара типа РВС-5000 допустимое время паузы составляет 640 с, время подачи воды – 300 с. Переход на интервальный режим позволяет сократить на 68 % расход воды на охлаждение по сравнению с непрерывным охлаждением.

Верификация модели по данным реальных пожаров (Энгельсский район, 2025 г.; г. Приморск, 2026 г.) подтвердила ее адекватность: расхождение расчетных и экспериментальных значений температуры стенки не превысило 14 %.

Разработанные математические модели и алгоритмы создают научную основу для проектирования специализированной пожарной техники, адаптированной для реализации алгоритма интервального охлаждения в резервуарных парках.

Дальнейшие исследования будут направлены на создание опытного образца пеноподъёмника и его испытания в условиях реального пожара.

Список литературы / References

1. Рекомендации по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. – Москва : ВНИИПО МЧС России, 2007. – 58 с.

Rekomendatsii po tusheniyu pozharov nefi i nefteproduktov v rezervuarakh [Recommendations for extinguishing oil and petroleum product fires in tanks]. Moscow, VNIPO EMERCOM of the Russia Publ., 2007, 58 p. (In Russian)

2. Абдурагимов, И. М. Количественная оценка эффективности тушения пожаров на вертикальных стальных резервуарах по новой технологии / И. М. Абдурагимов, Т. И. Абдурагимова // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2018. – № 3. – С. 59–64.

Abduragimov, I. M., Abduragimova, T. I. [Quantitative assessment of the effectiveness of fire extinguishing on vertical steel tanks using a new technology]. Fires and Emergencies: Prevention and Elimination, 2018, no. 3, pp. 59-64. (In Russian)

3. Мареев, М. А. Алгоритм поддержки принятия управленческих решений для организации подвоза воды при ликвидации крупных пожаров / М. А. Мареев // Актуальные вопросы профессиональной подготовки пожарных и спасателей: сборник материалов

X Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2026. – С. 94–100.

Mareev, M. A. [Algorithm for supporting managerial decision-making for organizing water supply during the elimination of large fires]. *Aktualnye voprosy professionalnoy podgotovki pozharnykh i spasateley*: articles from the 10th All-Russian scientific and practical conference. Ivanovo, IFRA of SFS of EMERCOM of Russia Publ., 2026, pp. 94-100. (In Russian)

4. Исследование механических свойств современного металлопроката строительного назначения при повышенных температурах / В. И. Голованов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2022. – Т. 31, № 2. – С. 52–62.

Golovanov, V. I., Kryuchkov, G. I., Strekalev, A. N., Komissarov, A. A., Tikhonov, S. M. [A study on mechanical properties of modern rolled structural metal at elevated temperatures]. *Fire and Explosion Safety*, 2022, vol. 31, no. 2, pp. 52-62. (In Russian)

5. Теплофизические характеристики стали и огнезащитных покрытий при нормированных температурных режимах пожара / В. И. Голованов, Н. С. Новиков, Г. И. Крючков, М. С. Лебедев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2023. – № 4. – С. 69–78.

Golovanov, V. I., Novikov, N. S., Kryuchkov, G. I., Lebedev, M. S. [Thermophysical characteristics of steel and fireproof coatings under standardized fire temperature conditions]. *Fire and emergencies: prevention, elimination*, 2023, no. 4, pp. 69-78. (In Russian)

6. Мареев, М. А. Особенности применения метода электрогидравлических аналогий для поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров / М. А. Мареев, А. Н. Денисов // Современные проблемы гражданской защиты. – 2022. – № 3 (44). – С. 22–29.

Mareev, M. A., Denisov, A. N. [Features of application of the method of electrohydraulic analogies to control fire and rescue divisions in fire extinguishing]. *Modern Problems of Civil Protection*, 2022, no. 3 (44), pp. 22-29. (In Russian)

7. Мареев, М. А. Нормативно-параметрическая модель управления ресурсными потоками в организационной системе пожаротушения / М. А. Мареев, А. Н. Денисов // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : материалы X международной научно-практической конференции. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2026. – Ч. 1. – С. 155–160.

Mareev, M. A., Denisov, A. N. [A normative-parametric model for resource flow management in an organizational fire suppression system]. *Firefighting: Problems, Technologies, and Innovations* : articles from the 10th International Scientific and Practical Conference. Moscow, SFA of EMERCOM of Russia Publ., 2026, pt. 1, pp. 155-160. (In Russian)

8. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Бессонов. – Москва : Юрайт, 2016. – 701 с.

Bessonov, L. A. [Theoretical Foundations of Electrical Engineering. Electrical Circuits]. Moscow, Yurayt, 2016, 701 p. (In Russian)

9. Попов, Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем / Д. Н. Попов. – Москва : Машиностроение, 1977. – 424 с.

Popov, D. N. [Dynamics and Regulation of Hydro- and Pneumatic Systems]. Moscow, Mechanical Engineering, 1977, 424 p. (In Russian)

10. Беспалов, В. Я., Кочеров, Ю. М. Электрогидравлические аналогии и их применение / В. Я. Беспалов, Ю. М. Кочеров. – Москва : Энергия, 1977. – 280 с.

Bespalov, V. Ya., Kocherov, Yu. M. [Electrohydraulic analogies and their application]. Moscow, Energiya, 1977, 280 p. (In Russian)

Дата поступления рукописи 30.06.2026
Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым

Maxim Olegovich Bakanov, Dr. of Tech. Sci., Associate Professor, Professor of the Department;
e-mail: mask-13@mail.ru

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)»
129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26. Phone: +7 (920) 347-39-57

Boris Borisovich Grinchenko, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, Associate Professor of the
Department; e-mail: grinchenko.borya@mail.ru

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»
153040, Ivanovo Region, Ivanovo, Stroiteley St., 33. Phone: +7 (930) 340-19-60

Mikhail Aleksandrovich Mareev, Deputy Head of Department of Rescue Teams¹; Lecturer²; applicant for
an academic degree³; e-mail: mareev.mikhail@mail.ru

¹Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies, and Elimination of Consequences of
Natural Disasters

121357, Moscow, Vatutina St., 1. Phone: +7 (920) 016-54-15

²Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
129366, Moscow, Boris Galushkin St., 4.

³IFRA of SFS of EMERCOM of Russia

153040, Ivanovo Region, Ivanovo, Stroiteley St., 33.

JUSTIFICATION OF INTERVAL COOLING PARAMETERS FOR TANKS BASED ON A STOCHASTIC MODEL OF EQUIPMENT DYNAMICS IN A SPATIALLY DISTRIBUTED ENVIRONMENT

Objective. To mathematically justify the parameters of interval cooling for tanks to improve the efficiency of extinguishing oil product fires at fuel and energy facilities.

Methods. The study is based on a stochastic spatially distributed model of resource flow dynamics developed using the isomorphic flow model method, including a differential equation for firefighting equipment motion and an algorithm for controlling the heat balance of the tank wall.

Results. The parameters of the «water supply – pause» cycle for the RVS-5000 tank are substantiated: permissible pause time – 640 s, supply time – 300 s; Model verification using real fire data showed a discrepancy of no more than 14 %, and the calculated water savings with interval cooling were 68 % compared to continuous mode.

Scientific novelty. For the first time, a rigorous mathematical justification for interval cooling tactics for storage tanks is proposed based on a stochastic model that takes into account thermal impact, random disturbances, and the spatial distribution of resources in a storage tank farm.

Practical relevance. The developed models and algorithms provide a scientific and methodological basis for designing a prototype foam elevator and substantiating tactical operating modes for pumping units, ensuring a significant reduction in water consumption when extinguishing protracted fires.

Keywords: interval cooling; storage tank farm; stochastic model; isomorphic flow model method; differential equation; spatially distributed system; fire suppression tactics.

For citation: Bakanov M. O., Grinchenko B. B., Mareev M. A. Justification of interval cooling parameters for tanks based on a stochastic model of equipment dynamics in a spatially distributed environment. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 95-104. EDN BDTHEH

УДК [614.8"363":378.4]:001.891.34

Елена Юрьевна Левина, д-р пед. наук, профессор кафедры¹; e-mail: frau.levina2010@yandex.ru

Михаил Валерьевич Любимцев, аспирант¹, преподаватель²; e-mail: rtu69@yandex.ru

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ» 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 10. Тел.: +7 (843) 231-59-92

²Приморский колледж (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мелитопольский государственный университет» 272102, Запорожская область, МО Приморский, г. Приморск, ул. Морская, д. 84.

Дмитрий Олегович Копытов, старший преподаватель, e-mail: dokopytov@mail.ru

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 обл., г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, 1А.

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УНИВЕРСИТЕТА

Цель. Теоретическое обоснование и разработка интегрального показателя комплексной безопасности университета, а также системы частных показателей, позволяющих перейти от фрагментарной оценки отдельных компонентов к системному риск-ориентированному мониторингу.

Методы. Используются методы наблюдения, анализа, синтеза, моделирования, экспертное ранжирование, статистический анализ.

Результаты. Выделены контуры комплексной безопасности: инфраструктурно-средовой, режимно-мобилизационный и социально-психологический, объединяющие направления обеспечения комплексной безопасности на основе социотехнического подхода. Предложена система количественных показателей комплексной безопасности университета с операционализированными формулами расчёта, где весовые коэффициенты определены методом экспертного ранжирования. Разработан интегральный показатель комплексной безопасности, позволяющий получать обобщённую оценку состояния вуза, отслеживать динамику и сравнивать различные образовательные организации.

Научная новизна. Впервые разработан интегральный показатель комплексной безопасности университета на основе функциональной контурной структуры и системы количественных показателей для перехода к риск-ориентированному мониторингу.

Практическая значимость. Обоснована возможность автоматизации расчёта показателей, их интеграции в электронный документооборот университета и в аппаратно-программный комплекс «Безопасный город» для перехода от фрагментарного ведомственного контроля к непрерывному риск-ориентированному мониторингу.

Ключевые слова: комплексная безопасность; университет; интегральный показатель; мониторинг; социотехнический подход; функциональные контуры; экспертное ранжирование; управление рисками.

Для цитирования: Левина Е. Ю., Любимцев М. В., Копытов Д. О. Разработка интегрального показателя комплексной безопасности университета // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 3 (63). – С. 105–113. – EDN HPHYVV

Постановка проблемы. В условиях современной геополитической напряжённости, роста террористических угроз, опасности распространения экстремистской идеологии среди молодёжи, увеличения числа техногенных аварий и природных катастроф, а также возникновения новых санитарно-эпидемиологических вызовов проблема обеспечения безопасности вузов

приобретает особую остроту [1, 2]. Университеты являются социальными объектами с массовым пребыванием людей, где сочетаются учебная, научная, производственная, хозяйственная и проживающая функции, что создаёт дополнительные риски возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) различного характера.

Анализ показал, что в действующем законодательстве Российской Федерации применительно к образовательным организациям [3] отсутствует легальное определение понятия «комплексная безопасность», а требования к отдельным компонентам безопасности (пожарной, антитеррористической, санитарно-эпидемиологической, гражданской обороны, информационной, психологической и др.) «разбросаны» по разным федеральным законам, подзаконным и ведомственным нормативным правовым актам, что создаёт существенные трудности для правоприменительной практики, систематизации подходов и разработки единых критериев оценки состояния комплексной безопасности вузов.

Цель исследования. Теоретическое обоснование и разработка интегрального показателя комплексной безопасности университета, а также системы частных показателей, позволяющих перейти от фрагментарной оценки отдельных компонентов к системному риск-ориентированному мониторингу.

Методы исследования. Методологическую основу настоящего исследования составляет социотехнический подход, который утвердился в научном дискурсе для обозначения сложных систем, в которых технические и социальные компоненты находятся в неразрывной взаимосвязи и взаимовлиянии [4, 5], что порождает новое системное свойство, возникающее на стыке технической, социальной, организационной и информационной подсистем [6].

В контексте методологической рамки [7], в любой социотехнической системе следует выделять два плана: «естественный» (природные, физиологические, психологические и непроектируемые социальные процессы, протекающие по собственным, не полностью подконтрольным человеку законам) и «искусственный» (совокупность целенаправленно созданных человеком артефактов – норм, процедур, технических устройств и организационных структур). Применительно к комплексной безопасности университета это различие позволяет избежать двух крайностей: иллюзии тотальной управляемости (игнорирование человеческого фактора и физического износа) и методологического пессимизма (отказ от проектной деятельности под предлогом неустранимости естественных процессов).

Методы исследования: наблюдение, анализ, синтез, моделирование, экспертное ранжирование, статистический анализ эмпирических данных, в том числе, анализ ретроспективных данных мониторинга комплексной безопасности вузов [8].

Экспертная группа включала 12 специалистов: по 4 представителя от служб безопасности университетов (стаж работы 7–18 лет), надзорных органов МЧС, Роспотребнадзора и Росгвардии (стаж работы 10–15 лет) и научных работников в области управления рисками и безопасности социотехнических систем (стаж работы 8–22 года). Такая структура обеспечила межведомственную сбалансированность оценок и их согласованность, что подтверждается рассчитанным коэффициентом конкордации $W = 0,82–0,89$ ($p < 0,05$).

Результаты исследования. В рамках социотехнического подхода университет рассматривается как сложная интеграция технической (материальная инфраструктура), социальной (студенты, преподаватели, сотрудники),

организационной (структура управления, регламенты, корпоративная культура) и информационной (информационные потоки, образовательная среда) подсистем. Комплексная безопасность возникает как системное свойство при их согласованном функционировании.

На основе анализа нормативных документов и научной литературы в структуре комплексной безопасности вуза выделены семь компонентов, сгруппированных в три функциональных контура:

1) инфраструктурно-средовой контур обеспечивает физическую защищённость материальной среды, инженерной инфраструктуры и санитарно-гигиеническое благополучие; включает компоненты: П1 – физическая безопасность и антитеррористическая защищённость, П2 – надёжность инженерных систем, П3 – санитарно-эпидемиологическое благополучие;

2) режимно-мобилизационный контур обеспечивает готовность к организованным действиям в условиях чрезвычайных ситуаций, пожаров и иных кризисных событий; включает компоненты: П4 – пожарная безопасность, П5 – готовность системы гражданской обороны;

3) социально-психологический контур обеспечивает защиту личности от угроз, связанных с психологическим воздействием, информационными рисками и деструктивными проявлениями; включает компоненты: П6 – информационная безопасность, П7 – психологическая безопасность.

Выделение вышеперечисленных трёх контуров обусловлено их функциональной спецификой: инфраструктурно-средовой контур создаёт «пассивную» безопасность (базовые условия), режимно-мобилизационный обеспечивает «активную» защиту при наступлении кризисной ситуации, а социально-психологический защищает от скрытых, постоянно действующих угроз.

Для количественной оценки состояния компонентов разработана система показателей П1–П6, рассчитываемых по единому принципу (показатель П7 рассчитывали отдельно):

$$П_j = \sum_{i=1}^n w_i * K_i * 100\%$$

где j – порядковый номер показателя $П$, $j = 1..6$;

K_i – нормированные оценки выполнения требований (1 – выполнено полностью; 0,5 – частично; 0 – не выполнено (для показателей П1, П4–П6) или 1 – соответствие нормативам не менее 90 %; 0,5 – от 71 % до 89 %; 0 – 70 % и менее (для показателей П2 и П3));

w_i – весовые коэффициенты, определённые методом экспертного ранжирования.

Пример состава коэффициентов и их весовые значения для каждого показателя приведены в табл. 1.

Для показателя П7 (психологическая безопасность) использовали результат анонимного анкетирования студентов. Анкета разработана на основе методики [9] и включает 12 вопросов, охватывающих эмоциональный комфорт, субъективную защищённость и уровень тревожности. На пилотной выборке ($n = 300$) коэффициент внутренней согласованности α Кронбаха составил 0,86 (что подтверждает достаточную надёжность инструмента).

В оценке использована 5-балльная шкала Лайкерта (1 – «полностью не согласен», 5 – «полностью согласен»). Для каждого респондента r рассчитывали индивидуальный средний балл q_r по всем вопросам.

Итоговый показатель Q – среднее арифметическое индивидуальных средних баллов по всей выборке из N респондентов:

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{r=1}^N q_r, \quad q_r = \frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} x_{rk}$$

где x_{rk} – оценка r -го респондента по k -му вопросу.

Показатель психологической безопасности П7 пересчитывали в проценты:

$$\text{П7} = \frac{Q \cdot 100\%}{5}$$

Таблица 1

Система показателей комплексной безопасности университета (фрагмент)

Состав коэффициентов	Весовые коэффициенты
П1 – Физическая безопасность и антитеррористическая защищённость	
–Наличие и актуальность паспорта безопасности	0,15
–Наличие контрольно-пропускного режима	0,15
–Наличие систем видеонаблюдения	0,1
–Наличие инженерно-технических средств защиты	0,1
–Наличие систем экстренного оповещения и тревожной сигнализации	0,15
–Наличие утверждённых алгоритмов действий при угрозе теракта	0,1
–Готовность персонала и студентов к действиям при угрозе теракта	0,15
–Наличие договора с частной охранной организацией	0,1
П6 – Информационная безопасность	
–Защищённость персональных данных	0,25
–Наличие и эффективность системы контент-фильтрации	0,15
–Защищённость от кибератак (антивирусное ПО, межсетевые экраны, резервное копирование)	0,20
–Организация мониторинга социальных сетей и деструктивной информации	0,2
–Эффективность обратной связи (механизмы реагирования на сигналы о деструктивных проявлениях)	0,2

Пороговые значения, позволяющие классифицировать состояние компонента безопасности (табл. 2), определены экспертным путём как медианы оценок 12 специалистов; итоговые границы округлены (90 % – для объективных

показателей, 80 % – для субъективных). Эмпирическая верификация порогов на основе корреляции с происшествиями и предписаниями запланирована на последующих этапах.

Таблица 2

Пороговые значения показателей комплексной безопасности

Показатель	Норма (безопасная зона)	Риск (зона внимания)	Кризис (зона критических рисков)
П1 – Физическая безопасность	90–100 %	70–89 %	< 70 %
П2 – Надёжность инженерных систем	90–100 %	70–89 %	< 70 %
П3 – Санитарно-эпидемиологическое благополучие	95–100 %	80–94 %	< 80 %
П4 – Пожарная безопасность	90–100 %	70–89 %	< 70 %
П5 – Гражданская оборона	85–100 %	65–84 %	< 65 %
П6 – Информационная безопасность	85–100 %	65–84 %	< 65 %
П7 – Психологическая безопасность	80–100 %	60–79 %	< 60 %

Логика формирования пороговых значений связана с различием «естественного» и «искусственного» в социотехнических системах: для показателей, связанных с безопасностью жизни и здоровья (П1, П4, П5), установлены наиболее высокие требования (норма от 85–90 %); для показателей, связанных с человеческим фактором (П7), пороги снижены (норма от 80 %).

Интегральный показатель комплексной безопасности рассчитывали, как среднее арифметическое частных показателей:

$$\text{ИП}_{\text{КБ}} = \frac{\sum_{j=1}^7 \text{П}_j}{7}$$

На основе интегрального показателя определяли уровень комплексной безопасности образовательной организации (табл. 3): высокий (90–100 %), средний (76–89 %), критический (50–76 %), кризисный (менее 50 %). Данные граничные значения обоснованы эмпирическим анализом ретроспективных данных мониторинга комплексной безопасности университета [7].

Методика апробирована на десяти вузах, отобранных по наличию различных инфраструктурных условий с численностью обучающихся от 3 тыс. до 12 тыс. человек. Наиболее проблемными зонами оказались социально-психологический контур (П6 – 62–68 %) и гражданская оборона (П5 – 58–72 %), что свидетельствует о системном дефиците внимания к данным направлениям. Высокие показатели по инфраструктурно-средовому контуру (П1–П3 – 78–92 %) не коррелировали с готовностью персонала к действиям при ЧС, что подтверждает необходимость оценки не только «пассивной» (наличие оборудования), но и «активной» безопасности (готовность людей).

Результаты апробации свидетельствуют о чувствительности методики к реальным различиям в состоянии безопасности (разброс интегрального показателя по вузам составил от 54 % до 81 %).

Таблица 3

Шкала уровней комплексной безопасности университета

Значение интегрального показателя	Характеристика состояния	Рекомендуемые действия
90–100 %	– Удовлетворительное состояние всех компонентов безопасности – Отклонения от нормативных требований отсутствуют или незначительны – Система безопасности функционирует эффективно	Поддержание достигнутого уровня, плановое развитие, профилактические мероприятия
76–89 %	– Удовлетворительное состояние большинства компонентов безопасности – Отдельные отклонения от нормативных требований, не представляющие критической угрозы – Требуется внимание к «слабым местам»	Разработка и реализация плана мероприятий по устранению выявленных отклонений, усиление контроля по проблемным направлениям
50–76 %	– Существенные отклонения от нормативных требований по ряду компонентов – Риск возникновения чрезвычайных ситуаций – Требуется принятие срочных мер	Разработка программы повышения безопасности, выделение дополнительных ресурсов, усиление контроля, проведение внеплановых тренировок
Менее 50 %	– Критические отклонения по большинству компонентов – Безопасность вуза не обеспечена – Высокая вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций с тяжёлыми последствиями	Незамедлительное принятие экстренных мер, уведомление учредителя и надзорных органов, разработка антикризисной программы, замена ключевых элементов систем безопасности

Полученные данные позволяют рассматривать предложенный инструментарий как пригодный для пилотного внедрения. Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что комплексная безопасность университета является системным свойством, возникающим на стыке технической, социальной, организационной и информационной подсистем, и не может быть сведена к сумме изолированных проверок.

Важным практическим результатом исследования является возможность автоматизации расчёта интегрального показателя, включения его в систему электронного документооборота и отчетности университета, а также встраивания в архитектуру аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» [10].

Выводы и перспективы дальнейших исследований. В ходе проведённого исследования разработана и апробирована методика интегральной оценки комплексной безопасности университета, позволяющая стандартизировать процедуру мониторинга на основе социотехнического подхода.

Выделение функциональных контуров (инфраструктурно-средовой, режимно-мобилизационный, социально-психологический) позволяет рассматривать

комплексную безопасность вуза как систему зон определённой ответственности, их взаимосвязь и готовность субъектов образовательного процесса, а не набор отдельных мероприятий. Переход к контурной структуре позволит типизировать угрозы, способы управления рисками и перейти к проактивному управлению.

Разработанный инструментарий может быть рекомендован для внедрения в практику управления безопасностью университета, а также для использования надзорными органами в целях объективной оценки состояния комплексной безопасности подведомственных учреждений.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: расширение выборки и корреляционный анализ с данными надзорных органов; разработка модуля автоматизированного расчёта показателей; интеграция показателей в системы ситуационного анализа АПК «Безопасный город»; адаптация методики для оценки безопасности образовательных организаций общего и среднего профессионального образования.

Список литературы / References

1. Сенчихин, С. П. Организационные проблемы обеспечения безопасности в образовательных учреждениях и пути их решения / С. П. Сенчихин // Вопросы государственного и муниципального управления. – 2022. – № 2. – С. 159–179.

Senchikhin, S. P. [Organizational problems of ensuring security in educational institutions and ways to solve them]. Public administration issues, 2022, no. 2, pp. 159-179. (In Russian)

2. Дулясова, М. В. «Безопасный университет» в социально-проектном дискурсе: мониторинг и оценка эффективности / М. В. Дулясова, В. В. Маркин // Власть. – 2016. – № 12. – С. 129–135.

Dulyasova, M. V., Markin, V. V. [Safe university in the social and project discourse: monitoring and efficiency evaluation]. The authority, 2016, no. 12, pp. 129-135. (In Russian)

3. Роговая, А. В. Мониторинг организационно-правовых основ регулирования комплексной безопасности образовательных организаций в Российской Федерации / А. В. Роговая // Мониторинг правоприменения. – 2017. – № 2 (23). – С. 50–58.

Rogovaya, A. V. [Monitoring the organisational and legal foundations for regulating the comprehensive security of educational institutions in the Russian Federation]. Monitoring of law enforcement, 2017, no. 2 (23), pp. 50-58. (In Russian)

4. Бурланков, С. П. Основные понятия и классификация социотехнических, технико-экономических и социально-экономических систем / С. П. Бурланков, П. С. Бурланков, А. О. Скворцов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. – 2017. – № 2 (42). – С. 169–183.

Burlankov, S. P., Burlankov, P. S., Skvortsov, A. O. [Basic concepts and classification of socio-technical, techno-economic and socio-economic systems]. University proceedings. Volga region. Social sciences, 2017, no. 2 (42), pp. 169-183. (In Russian)

5. Карпович, А. И. Определение категории устойчивости в сложных социотехнических системах / А. И. Карпович, А. В. Никифорова, А. Н. Полетайкин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2017. – № 1. – С. 147–163.

Karpovich A. I., Nikiforova A. V., Poletaykin A. N. [The definition of stability in complex socio-technical systems]. PNRPU Sociology and Economics Bulletin, 2017, no. 1, pp. 147-163. (In Russian)

6. Кравченко, С. И. Безопасность социотехнических систем / С. И. Кравченко // НБИ технологии. – 2018. – Т. 12, № 2. – С. 20–24.

Kravchenko, S. I. [The security of socio-technical systems]. NBI technologies, 2018, vol. 12, no. 2, pp. 20-24. (In Russian)

7. Щедровицкий, Г. П. «Естественное» и «искусственное» в социотехнических системах / Г. П. Щедровицкий // Вопросы методологии. – 1992. – № 1-2. – С. 3–11.

Shchedrovitsky, G. P. [«Natural» and «artificial» in socio-technical systems]. Voprosy metodologii, 1992, no. 1-2, pp. 3-11. (In Russian)

8. Обеспечение безопасности как фактор социальной ответственности образования (по результатам мониторинга вузов) / Ф. Ш. Мухаметзянова, Е. Н. Прокофьева, Е. Ю. Левина, А. П. Абраковнов // Казанский педагогический журнал. – 2016. – № 5 (118). – С. 76–81.

Mukhametzyanova, F. Sh., Prokofieva, E. N., Levina, E. Yu., Abrakovnov, A. P. [Security as a factor social responsibility of education (by results of monitoring universities)]. Kazan pedagogical journal, 2016, no. 5 (118), pp. 76-81. (In Russian)

9. Баева, И. А. Психологическая безопасность в образовании: монография / И. А. Баева – СПб.: «СОЮЗ», 2002. – 271 с.

Baeva, I. A. *Psikhologicheskaya bezopasnost v obrazovanii: monografiya* [Psychological safety in education: monograph]. St. Petersburg, «SOYUZ» Publ., 2002, 271 p. (In Russian)

10. Аппаратно-программный комплекс «Безопасный город» как фактор снижения риска возникновения ЧС / О. А. Степущенко, Е. В. Муравьева, Е. И. Халикова, Д. Ш. Сибгатуллина // Безопасность жизнедеятельности. – 2017. – № 5 (197). – С. 47–52.

Stepushchenko, O. A., Muravieva, E. V., Khalikova, E. I., Sibgatullina, D. Sh. [Hardware-software complex «Safe city» as the risk reduction factor of emergency]. Life safety, 2017, no. 5 (197), pp. 47-52. (In Russian)

Дата поступления рукописи 10.07.2026

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

Elena Yuryevna Levina, Dr. of Pedagogy Sci., Professor¹; e-mail: frau.levina2010@yandex.ru

Mikhail Valeryevich Lyubimtsev, Postgraduate Student¹, Lecturer², e-mail: rtu69@yandex.ru

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

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

420111, Republic of Tatarstan, Kazan, K. Marksa St., 10. Phone: 7 (843)231-59-92

²Primorsky college (branch) of Federal State Budget Educational Institution

of Higher Education «Melitopol State University»

272102, Zaporozhye Region, md. Primorsky, Primorsk, Morskaya St, 84.

Dmitry Olegovich Kopytov, Senior Lecturer, e-mail: dokopytov@mail.ru

Federal State Budget Military Educational Institution of Higher Education

«The Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia»

141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya st., 1A.

DEVELOPMENT OF AN INTEGRAL INDICATOR OF THE UNIVERSITY'S COMPREHENSIVE SECURITY

Objective. Theoretical substantiation and development of an integral indicator of the university's comprehensive security, as well as a system of partial indicators that allow the transition from fragmentary assessment of individual components to systematic risk-oriented monitoring.

Methods. The methods of observation, analysis, synthesis, modeling, expert ranking, and statistical analysis were used.

Results. The contours of comprehensive security are identified: infrastructural-environmental, regime-mobilization, and socio-psychological, integrating the areas of comprehensive security provision based on the socio-technical approach. A system of quantitative indicators of the university's comprehensive security with operationalized calculation formulas is proposed, where weight coefficients are determined by the method of expert ranking. An integral indicator of comprehensive security has been developed, allowing to

obtain a generalized assessment of the university's security status, track dynamics, and compare various educational institutions.

Scientific novelty. An integral indicator of the university's comprehensive security has been developed and substantiated based on a functional contour structure and a system of quantitative indicators for the transition to risk-oriented monitoring.

Practical significance. The possibility of automating the calculation of indicators, their integration into the university's electronic document management system, and embedding them into the hardware-software complex "Safe City" for the transition from fragmentary departmental control to continuous risk-oriented monitoring is substantiated.

Keywords: comprehensive security, university, integral indicator, monitoring, socio-technical approach, functional contours, expert ranking, risk management.

For citation: Levina E. Yu., Lyubimtsev M. V., Kopytov D. O. Development of an integral indicator of the university's comprehensive security. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 105-113. EDN HPHYVV

УДК [614:841.41:621.642.03]:614.835.3

Антон Валерьевич Краснов, канд. техн. наук, доцент кафедры; e-mail: 00770088@mail.ru

Рифкат Мухатъярович Султанов, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры; e-mail: sultanov55@mail.ru

Никита Андреевич Олин, аспирант; e-mail: olinolin357@gmail.com

Диана Ильнуровна Идельбаева, магистрант; e-mail: dianailnurovna3@gmail.com

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уфимский государственный нефтяной технический университет»

450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1. Тел.: +7 (964) 964-88-38

ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ СПОСОБОВ ОГНЕЗАЩИТЫ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛАСТИЧНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Цель. Экспериментально оценить возможность применения конструктивного способа повышения огнестойкости на базе плиточных и рулонных материалов для защиты эластичных полимерных резервуаров хранения нефти, нефтепродуктов и других горючих и легковоспламеняющихся жидкостей (за исключением сжиженных углеводородных газов).

Методы. Использован комплексный метод исследования, включающий анализ научных источников, проведение теоретических исследований научной и справочной литературы по вопросам поведения полимерных материалов при пожаре и экспериментальных исследований, заключающихся в экспонировании образцов в открытом пламени газовой горелки с последующей обработкой результатов.

Результаты. Установлено, что конструктивная защита существенно повышает устойчивость полимерных эластичных материалов к тепловому воздействию. Комплексное применение каолиновой ваты с асбестовым шнуром позволяет обеспечить огнезащиту емкости с бензином, выполненной из полимерного эластичного материала, от прямого огневого воздействия в течение не менее 15 минут.

Научная новизна. Экспериментально доказана принципиальная возможность эффективной защиты эластичных полимерных резервуаров (например, из РР пластика, ПВХ и аналогичных по структуре полимеров) от длительного теплового воздействия (не менее 15 минут) и контактного огневого воздействия путем применения конструктивной огнезащиты с использованием каолиновой ваты в сочетании с асбестом (асбестовым шнуром).

Практическая значимость. Результаты исследований позволяют расширить спектр применения эластичных полимерных резервуаров для хранения нефти, нефтепродуктов и других горючих и легковоспламеняющихся жидкостей (за исключением сжиженных углеводородных газов), в том числе обеспечивать безопасное хранение указанных веществ в нескольких резервуарах, объединенных в одну группу.

Ключевые слова: полимерный эластичный резервуар; конструктивная огнезащита; тепловой поток; огневое воздействие; хранение нефти и нефтепродуктов.

Для цитирования: Краснов А. В., Султанов Р. М., Олин Н. А., Идельбаева Д. И. Применение конструктивных способов огнезащиты для полимерных эластичных резервуаров // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 3 (63). – С. 114–120. – EDN FKJYZI

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. По официальным данным МЧС России за период 2018–2024 гг. в стране зарегистрировано 28 пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов, причем, пожары в резервуарах составляют треть от всех пожаров на объектах нефтегазовой отрасли, что является наибольшим показателем по отрасли [1].

В настоящее время активно развивается направление применения полимерных эластичных резервуаров для временного хранения и транспортировки нефти

и нефтепродуктов, что связано в первую очередь с их низкой стоимостью, легкостью монтажа и возросшими прочностными характеристиками полимеров [2].

Существенным недостатком, ограничивающим спектр применения полимерных эластичных резервуаров, является их низкая способность сопротивления огню и тепловому воздействию. В связи с этим актуальной задачей на данный момент является поиск и исследование возможностей повышения огнезащитных свойств материалов, из которых изготавливаются полимерные эластичные резервуары [3].

Анализ последних исследований и публикаций. Полимерные резервуары являются перспективным видом средств для перевозок жидких веществ, в том числе агрессивных химических или пожароопасных горючих или легковоспламеняющихся жидкостей. Определяющим в развитии применения полимерных резервуаров является тот факт, что сами аппараты, будучи искусственно или синтетически получаемыми, приобретают необходимые физико-химические свойства (прочность, износостойкость, стойкость к агрессивному внешнему воздействию) при малых финансовых вложениях [4, 5].

Широко известна применимость полимерных эластичных резервуаров в качестве аварийных, буферных или временных емкостей. Так, если необходимо обеспечить быстрое высвобождение резервуара с горючей или легковоспламеняющейся жидкостью при пожаре на смежном аппарате, то при отсутствии предусмотренных для этих целей свободных емкостей, применяют полимерные эластичные резервуары. За счет малого веса в пустом состоянии полимерные резервуары являются мобильными и легко доставляются к месту применения [6].

При наличии положительных свойств полимерные резервуары не лишены недостатков, при этом самым главным из них является низкие показатели устойчивости к тепловому нагреву и открытому воздействию огня. Попытки повысить предел огнестойкости полимерных материалов известны с конца XX в., и все они сводятся к структурным изменениям получаемого материала, путем введения различных добавок [7]. Наибольшее распространение на современном этапе получили добавки на базе нанокремниевых компонентов, которые можно вводить на этапе создания полимера или же использовать для формирования внешнего защитного слоя – для уже созданного материала [8, 9]. Полученные результаты использования нанокремниевых компонентов для создания защитного слоя на поверхности полимерного материала подчеркивают возможность дальнейшего развития направления по конструктивной огнезащите.

Цель исследования – экспериментально оценить возможность применения конструктивного способа повышения огнестойкости на базе плиточных и рулонных материалов для защиты эластичных полимерных резервуаров хранения нефти, нефтепродуктов и других горючих и легковоспламеняющихся жидкостей (за исключением сжиженных углеводородных газов).

Результаты исследований. Проведены натуральные огневые испытания по оценке устойчивости к огню полимерного материала с конструктивной огнезащитой путем применения огнестойких плиточных и рулонных изделий в замкнутом пространстве при воздействии открытого пламени горелки на испытываемые образцы с учетом соблюдения следующих условий:

- отсутствие ветрового воздействия (испытания проводились в замкнутом объеме камеры сжигания без включения вентиляции для исключения влияния аэродинамических факторов на распространение пламени);

– подготовка образцов (в качестве испытуемого полимера для всех опытов использовались емкости из РР пластика 5-го типа одинакового объема 200 мл, которые предварительно заполняли 50 мл бензина марки АИ-92);

– параметры огневого воздействия (на все образцы, помещенные в замкнутый объем камеры сжигания, производилось прямое воздействие пламенной горелки с температурой 700–800 °С с расстояния $5,0 \pm 0,5$ см);

– процедура измерения (в процессе экспериментальных исследований фиксировали температуру над поверхностью образца, время нарушения целостности конструктивной огнезащиты и воспламенения бензина, находящегося в испытуемой емкости; при этом максимальная продолжительность эксперимента составляла 15 минут).

Емкость из РР пластика 5-го типа (полипропилен с температурой плавления +160–176 °С) после заполнения бензином покрывали по всей наружной поверхности полимера огнезащитным материалом одного из трех рассматриваемых видов:

1) огнестойкая самоклеящаяся теплоизоляция ОСМ Air duct 60 на основе базальтового волокна, кашированная алюминиевой фольгой (сертификат соответствия №ЕАЭС RU С-RU.ПБ68.В.00026/20);

2) каолиновая вата по ГОСТ 23619-79 в сочетании с базальтовой тканью по ГОСТ 21880–2011;

3) каолиновая вата по ГОСТ 23619-79 в сочетании с асбестовым шнуром по ГОСТ 1779-83.

Элементы конструктивной огнезащиты наносили внахлест во избежание образования открытого пространства на поверхности полимера между стыками защитного материала (рис. 1).

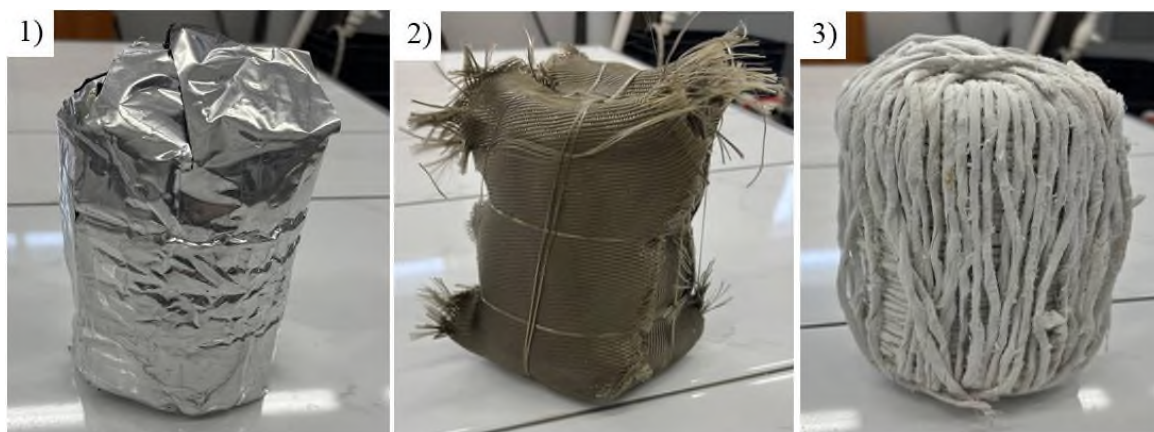


Рис. 1. Внешний вид подготовленных для испытания образцов полимера с конструктивной огнезащитой: 1) огнестойкая самоклеящаяся теплоизоляция; 2) каолиновая вата в сочетании с базальтовой тканью; 3) каолиновая вата в сочетании с асбестом

После помещения испытуемого образца полимера с конструктивной огнезащитой в замкнутый объем камеры сжигания на него направляли открытое пламя горелки. В камере сжигания над испытуемым образцом на расстоянии 10 ± 1 см была установлена термопара типа J (ТЖК), фиксирующая изменение температуры в период проведения исследований. В начальный период проведения эксперимента температура в камере составляла 230–235 °С. Динамика температуры в процессе огневых испытаний приведена на рис. 2.

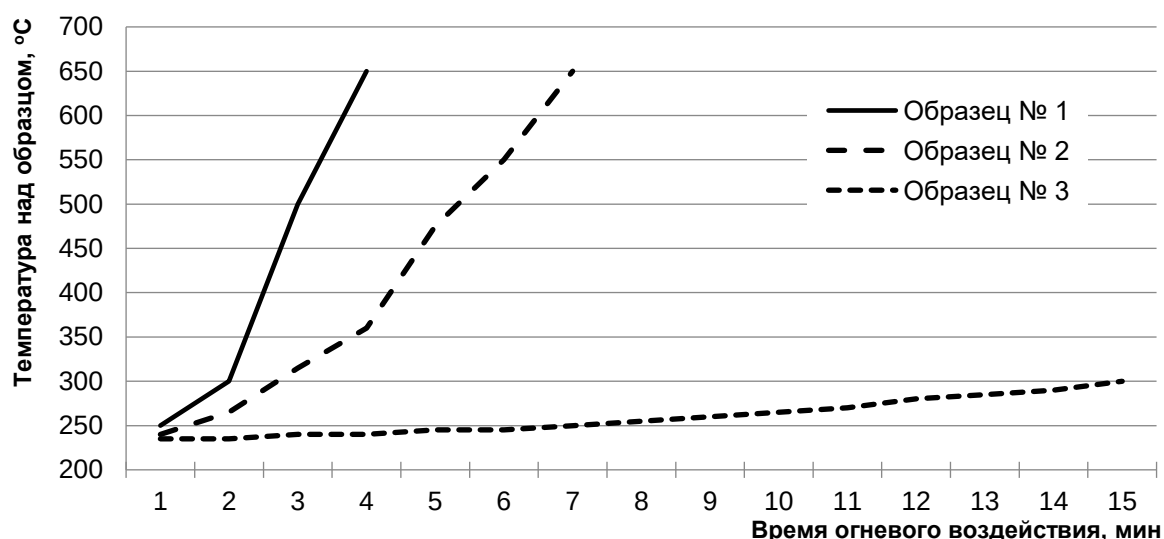


Рис. 2. Динамика температуры в период проведения огневых испытаний

Наихудшее сопротивление огню продемонстрировал образец полимера, защищенный огнестойкой самоклеящейся теплоизоляцией. Под воздействием открытого пламени горелки после 2 минут испытаний произошло постепенное расслоение стыков защитного материала, что привело к возгоранию емкости с бензином (образец № 1). Аналогичным образом после 6 минут от начала огневого испытания была нарушена конструктивная целостность огнезащиты на базе каолиновой ваты с базальтовой тканью (образец № 2). Таким образом, перспектива применения огнестойкой самоклеящейся теплоизоляции и каолиновой ваты в сочетании с базальтовой тканью возможна при решении вопроса дополнительной защиты (фиксации) стыков огнезащитного материала на поверхности полимерного материала.

Образец полимера, защищенный по наружной поверхности каолиновой ватой в сочетании с асбестом (образец № 3), показал наилучшее сопротивление открытому пламени горелки: в течение 15 минут температура над образцом увеличилась на 65 °С. При этом целостность наружного слоя конструктивной огнезащиты претерпела незначительные повреждения, заключающиеся в наличии почернений в месте огневого воздействия и разрыве 2-3 связующих асбестовых шнуров (рис. 3).

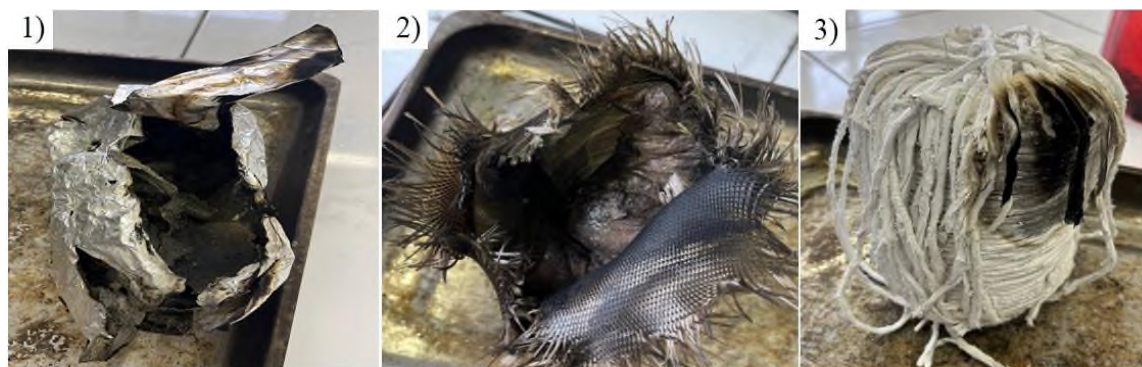


Рис. 3. Внешний вид после огневых испытаний испытуемых образцов полимера с конструктивной огнезащитой: 1) огнестойкая самоклеящаяся теплоизоляция; 2) каолиновая вата в сочетании с базальтовой тканью; 3) каолиновая вата в сочетании с асбестом

Немаловажным фактором при определении возможности применения мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, в том числе — по использованию огнезащиты, является оценка финансовых расходов на их устройство. Сравнительный анализ стоимости конструктивной огнезащиты для полимерного эластичного резервуара хранения нефти и нефтепродуктов объемом 55 м³ показал, что самым экономически выгодным из рассматриваемых вариантов является использование огнестойких самоклеящихся теплоизоляционных материалов.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Результаты огневых испытаний для рассмотренных способов конструктивной огнезащиты резервуаров из полимерных материалов показали эффективность применения конструктивной огнезащиты на базе каолиновой ваты (ГОСТ 23619-79) в сочетании с асбестовым шнуром (ГОСТ 1779-83) при прямом воздействии пламени горелки в течение не менее 15 минут. Также важно отметить, что для всех образцов — испытуемых вариантов конструктивной огнезащиты, получена высокая сопротивляемость огню по поверхности огнезащиты, и «уязвимость» в местах стыках. Следовательно, дальнейшая перспектива исследований состоит в решении проблемы, связанной с низкой тепловой устойчивостью элементов конструктивной огнезащиты в местах их стыка на поверхности защищаемого полимера, что наглядно получено экспериментально при огневых испытаниях образцов №1 и №2.

Развитие направления конструктивной огнезащиты для полимерных эластичных резервуаров хранения нефти и нефтепродуктов путем применения плиточных и рулонных материалов позволит снизить стоимость реализации противопожарного мероприятия по повышению устойчивости данного вида оборудования огневому и тепловому воздействиям.

Список литературы / References

1. Исламов, Т. Р. К вопросу о пожарной безопасности на нефтеперерабатывающих предприятиях / Т. Р. Исламов, С. Г. Аксенов, Ф. К. Синагатуллин // Студенческий форум. — 2022. — № 21-3(200). — С. 35–36. — EDN FCAJEL

Islamov, T. R., Aksenov, S. G., Sinagatullin, F. K. *K voprosu o pozharной bezopasnosti na neftepererabatyvayushchih predpriyatiyah. Studencheskiy forum*, 2022, no. 21-3(200), pp. 35-36. (In Russian)

2. Константинов, И. В. Преимущества и недостатки эластичных резервуаров / И. В. Константинов, В. Л. Яшин, М. А. Рахманов / Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей LXI Международной научно-практической конференции. — Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2022. — С. 59–61. — EDN OXZAXN

Konstantinov, I. V., Yashin, V. L., Rahmanov, M. A. [Advantages and disadvantages of elastic tanks]. *Fundamental and Applied Scientific Research: Current Issues, Achievements, and Innovations. A Collection of Articles of LXI International scientific conference*. Penza, Science and Education Publ., 2022, pp. 59-61. (In Russian)

3. Особенности физико-механических испытаний трехслойных полистиролбетонных панелей / В. М. Якимов, А. В. Пермяков, И. Ф. Хафизов, Ф. Ш. Хафизов // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. — 2020. — № 1. — С. 73–88. — EDN KFJZFR.

Yakimov, V. M., Permyakov, A. V., Hafizov, I. F., Hafizov, F. Sh. [Features of physical and mechanical tests of three-layer polystyrene concrete panels]. *Oil and Gas Business*, 2020, no. 1, pp. 73-88. (In Russian)

4. Куанышбаев, Ж. М. Гибкие полимерные резервуары как оптимальное решение перевозки нефтепродуктов / Ж. М. Куанышбаев, Н. К. Айдикенова, А. Д. Касымжанова // Труды университета. – 2014. – № 4(57). – С. 66–70. – EDN TIPWUP.

Kuanyshbaev, Zh. M., Ajdikenova, N. K., Kasymzhanova, A. D. *Gibkie polimernye rezervuari kak optimalnoe reshenie perevozki nefteproduktov*. Universitet Enbekteri – University Proceedings, 2014, no. 4 (57), pp. 66-70. (In Russian)

5. Саушев, М. О. ООО «РН-Морской терминал Туапсе»: полимерные резервуары / М. О. Саушев // Бурение и нефть. – 2021. – № 10. – С. 47. – EDN QRGQSU

Saushev, M. O. [«RN-Morskoy terminal Tuapse» LLC polymer tanks]. Drilling and oil, 2021, no. 10, pp. 47. (In Russian)

6. Наконечная, О. А. Разливы на нефтебазах: как полимерные резервуары помогают минимизировать последствия / О. А. Наконечная // Молодежь и наука: шаг к успеху: Сборник научных статей 8-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых. Т. 4. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2025. – С. 14–17. – EDN EQQSAM

Nakonechnaya, O. A. *Razlivy na neftebazah: kak polimernye rezervuary pomagayut minimizirovat posledstviya*. *Molodezh i nauka: shag k uspekh*. Collection of scientific articles from the 8th All-Russian Scientific Conference of Advanced Developments of Young Scientists, vol. 4. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2025, pp. 14-17. (In Russian)

7. Snegirev, A. Y., Talalov, V. A., Stepanov, V. V., Korobeinichev, O. P., Gerasimov, I. E., Shmakov, A. G. Autocatalysis in thermal decomposition of polymers. *Polymer Degradation and Stability*, 2017, no. 137, pp. 151-161. – DOI 10.1016/j.polymdegradstab.2017.01.008 – EDN YFPFEB (In English)

8. Самигуллин, Г. Х. Снижение пожарной опасности при хранении нефтепродуктов в полимерных эластичных резервуарах, модифицированных нанокуглеродными компонентами / Г. Х. Самигуллин, А. Е. Захаров // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2023. – № 2(66). – С. 148–158. – EDN FMWLFR

Samigullin, G. H., Zaharov, A. E. [Reduction of fire hazard when storing petroleum products in polymeric elastic tanks modified with nanocarbon components]. *Problems of technosphere risk management*, 2023, no. 2(66), pp. 148-158. (In Russian)

9. Самигуллин, Г. Х. Повышение термостойкости внешнего слоя полимерных эластичных резервуаров путем нанесения модифицированных нанокуглеродных компонентов / Г. Х. Самигуллин, А. Е. Захаров, Г. И. Гончаров // Актуальные проблемы пожарной безопасности: Материалы XXXVI Международной научно-практической конференции, посвященной 375-й годовщине образования пожарной охраны России. – Москва: ВНИИ ПО МЧС РФ, 2024. – С. 511–516. – EDN ELTVNB

Samigullin, G.H., Zaharov, A.E., Goncharov, G.I. [Improving the thermal resistance of the outer layer of polymer elastic tanks by application of modified nanocarbon components]. *Current issues of fire safety: Proceedings of the XXXVI International scientific and practical conference dedicated to the 375th anniversary of the formation of the fire service of Russia*, Moscow, FGBU VNIPO EMERCOM of Russia Publ., 2024, pp. 511-516. (In Russian)

10. Краснов, А. В. Использование конструктивной огнезащиты для обеспечения противопожарной защиты резервуаров хранения сжиженных углеводородных газов / А. В. Краснов, А. И. Шакирова, Р. М. Халитова // Пожарная и аварийная безопасность: сб. материалов XII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной году гражданской обороны. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России», 2017. – С. 92–96. – EDN YXWHVZ.

Krasnov, A. V., Shakirova, A. I., Halitova, R. M. [The use of structural fire protection to ensure fire protection of storage tanks of liquefied hydrocarbon gases]. *Fire and emergency safety: Collection of materials from the XII International scientific and practical conference dedicated to the year of civil defense*. Ivanovo, IFRA of SFS of EMERCOM of Russia Publ., 2017, pp. 92-96. (In Russian)

11. Самигуллин, Г. Х. Снижение пожарной опасности при использовании полимерных эластичных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов / Г. Х. Самигуллин, А. Е. Захаров // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2023. – № 1(65). – С. 8–16. – EDN RQFYQJ

Samigullin, G. H., Zaharov, A. E. [Reduction of fire hazard when using polymeric elastic tanks for oil and petroleum products storage]. Problems of technosphere risk management, 2023, no. 1 (65), pp. 8-16. (In Russian)

Дата поступления рукописи 16.02.2026

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук В. В. Лебедевой

Anton Valerievich Krasnov, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor of the Department;

e-mail: 00770088@mail.ru

Rifkat Mukhatyarovich Sultanov, Dr. of Chem. Sci., Professor, Professor of the Department;

e-mail: sultanov55@mail.ru

Nikita Andreevich Olin, Post-graduate student; olinolin357@gmail.com

Diana Ilnurovna Idelbaeva, Master; e-mail: dianailnurovna3@gmail.com

Ufa State Petroleum Technological University

450064, Ufa, Kosmonavtov St., 1. Phone: +7(964)964-88-38

APPLICATION OF STRUCTURAL FIRE PROTECTION METHODS FOR ELASTIC POLYMER TANKS

Objective. To experimentally evaluate the feasibility of using a structural method for increasing fire resistance using slab and roll materials to protect elastic polymer storage tanks for oil, petroleum products, and other flammable and combustible liquids (excluding liquefied petroleum gases).

Methods. A comprehensive research method was used, including an analysis of scientific sources, theoretical studies of scientific and reference literature on the behavior of polymeric materials during fire, and experimental studies, which consisted of exposing samples to the open flame of a gas burner, followed by processing the results.

Results. Structural protection was found to significantly increase the thermal resistance of elastic polymer materials. The combined use of kaolin wool and asbestos thread ensures the resistance of a gasoline tank made of elastic polymer material to direct fire for at least 15 minutes.

Scientific novelty. The fundamental possibility of effective protection of elastic polymer tanks (for example, made of PP plastic, PVC and polymers with similar structure) from long-term thermal exposure (at least 15 minutes) and contact fire exposure by using structural fire protection using kaolin wool in combination with asbestos (asbestos cord) has been experimentally proven.

Practical value. The research results allow for an expanded range of applications for flexible polymer tanks for storing oil, petroleum products, and other flammable and combustible liquids (except liquefied petroleum gases), including ensuring the safe storage of these substances in multiple tanks combined into a single group.

Keywords: flexible polymer tank; structural fire protection; heat flow; fire exposure; storage of oil and petroleum products.

For citation: Krasnov A. V., Sultanov R. M., Olin N. A., Idelbaeva D. I. Application of structural fire protection methods for elastic polymer tanks. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 114-120. EDN FKJYZI

УДК 614.8:[626.02-51:377.169.3]

Алексей Вячеславович Веселов, канд. воен. наук, старший преподаватель кафедры;

e-mail: a.veselov@agz.50.mchs.gov.ru

Михаил Федорович Баринов, канд. тех. наук, доцент, начальник кафедры;

e-mail: m.barinov@agz.50.mchs.gov.ru

Денис Владимирович Мясников, канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры;

e-mail: d.myasnikov@agz.50.mchs.gov.ru

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 обл., г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, 1А. Тел.: 8 (495) 624-14-56

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ТРЕНАЖЁРА ДЛЯ ОТРАБОТКИ ПРАКТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ ВОДОЛАЗОВ

Цель. Повышение эффективности подготовки водолазов за счет практической отработки ключевых навыков на разработанном мобильном тренажёрном комплексе.

Методы. Применен комплексный метод исследования, включающий анализ литературных источников и нормативных документов в области подготовки водолазов, детальный обзор современных тренажёрных водолазных комплексов.

Результаты. Разработана конструкция мобильного, сборно-разборного водолазного тренажёра. Предложена модель оценки эффективности, основанная на целевой функции максимизации прироста комплексного показателя, что позволяет количественно обосновать преимущества тренажёра перед традиционными методами обучения и другими комплексами.

Научная новизна. Разработана модель мобильного, сборно-разборного тренажёрного комплекса, интегрирующего зоны для отработки ключевых навыков водолаза и формализации процесса оценки его эффективности, что позволяет системно подойти к оптимизации, как конструктивных решений тренажёра, так и методик его применения.

Практическая значимость. Разработанный тренажёр и методика его оценки внедрены в учебный процесс Академии гражданской защиты МЧС России, что позволяет повысить качество практической подготовки водолазов, сократить время освоения сложных операций и повысить общий уровень готовности водолазных специалистов.

Ключевые слова: водолаз; водолазная подготовка; тренажёрный комплекс; мобильность; эффективность обучения; комплексный показатель.

Для цитирования: Веселов А. В., Баринов М. Ф., Мясников Д. В. Разработка модели тренажёра для отработки практических навыков водолазов // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2026. – № 3 (63). – С. 121–127. – EDN BODBPS

Постановка проблемы и её связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Формирование устойчивых практических навыков является критически важным этапом подготовки водолазов для МЧС России и других ведомств. Современные стационарные тренажёрные комплексы, такие как «Байкал-1», «МФ УТК» и «КСГ», несмотря на высокую функциональность, обладают существенными недостатками: высокая стоимость, большие габариты и сложность транспортировки [1–4]. Это ограничивает их доступность для большинства учебных центров, создавая дефицит в качественной практической подготовке водолазов. В связи с этим актуальной является задача разработки не только альтернативных, мобильных и экономичных технических средств обучения, но и научно обоснованной методики оценки их эффективности для сравнения и обоснования внедрения.

Анализ последних исследований и публикаций. Проведенный анализ работ в предметной области исследования показал, что освещение специализированных тренажёрных комплексов для подготовки водолазов осуществляется преимущественно в патентной и технической литературе, где основное внимание уделяется конструктивным решениям^{1 2}. Однако вопросы объективной оценки педагогической эффективности таких тренажёров, в частности, измерения их влияния на формирование практических навыков, в научных публикациях представлены фрагментарно и редко подкрепляются формализованным аппаратом [5]. В то же время в смежных областях, например при оценке технических средств поиска пострадавших, успешно применяются подходы, основанные на комплексных показателях и многокритериальном анализе [6, 7]. Это указывает на принципиальную возможность адаптации аналогичных методологий для оценки эффективности водолазных тренажёров.

Описание методов (структуры, последовательности) проведения исследования. Исследование проводилось в три этапа. На первом этапе проведён анализ профессионального стандарта³ и требований к навыкам водолаза, а также выполнен сравнительный анализ существующих тренажёрных комплексов. На втором этапе спроектирована и изготовлена модель тренажёра. На третьем этапе для оценки эффективности введён комплексный показатель, являющийся функцией от нормированных временных и качественных параметров выполнения контрольных упражнений.

Водолазные работы являются неотъемлемой частью многих спасательных операций. При этом труд водолазов востребован не только в системе МЧС России, но и в деятельности других федеральных органов исполнительной власти, организаций, учреждений и структур [8].

Стоит отметить, что профессия водолаза сопряжена с высоким риском и требует формирования сложных практических компетенций. Ключевую роль в их отработке играют современные тренажёрные комплексы, позволяющие моделировать условия, близкие к реальным.

Анализ современных тренажёрных комплексов, таких как «Байкал-1», «МФ УТК» и «КСГ», показывает, что они представляют собой высокотехнологичное и многофункциональное оборудование, позволяющее отрабатывать сложные навыки, включая аварийно-спасательные работы и применение специализированного инструмента, а также моделировать различные нештатные ситуации [1–3]. Однако их техническая сложность, модульная архитектура и функциональная насыщенность обуславливают высокую стоимость, делая эти тренажеры дорогостоящими, как в приобретении, так и в обслуживании, что может ограничивать их доступность, в том числе и для учебных заведений. При этом их размеры достаточно габаритны, а их транспортировка сопряжена со значительными трудностями, что сужает возможности их оперативного развертывания на различных учебных точках (бассейн, открытый водоем).

¹ Патент на полезную модель № 66505 U1 Российская Федерация, МПК F41J 1/18. Учебно-тренировочный комплекс для водолазов : № 2007108055/22 : заявл. 22.02.2007 : опубл. 10.09.2007 / В. Ю. Занин, И. В. Васильев. – EDN NZVROF.

² Патент № 2330780 C2 Российская Федерация, МПК B63C 11/32. тренировочная башня : № 2006100989/11 : заявл. 10.01.2006 : опубл. 10.08.2008 / В. Н. Илюхин, В. В. Михайлов, А. И. Смирнов [и др.] ; заявитель Войсковая часть 20914. – EDN CRZFGP.

³ Профессиональный стандарт «Водолаз» (утвержден приказом Минтруда России от 08.08.2022 № 471н)

Таким образом, разработка мобильного, компактного и менее затратного тренажёрного комплекса является актуальной задачей, так как решает проблемы доступности и транспортировки дорогостоящего стационарного оборудования, повышая эффективность практической подготовки водолазов.

При разработке тренажёра в первую очередь необходимо исходить из содержания трудовых функций водолаза, регламентированных профессиональным стандартом и иными нормативными документами. Это предполагает тщательный анализ требований к умениям и практическим навыкам будущих водолазов. Такой подход обеспечит создание целевого тренажёра, который позволит эффективно и целенаправленно формировать конкретные компетенции обучающихся, необходимые для успешной профессиональной деятельности.

В результате анализа требований данного нормативного документа можно выделить основные практические навыки, которыми должен обладать водолаз:

- регулирование плавучести;
- мелкая моторика и работа с механизмами;
- такелажные работы;
- монтажно-демонтажные работы;
- действия в аварийных и нештатных ситуациях;
- взаимодействие и коммуникация, координация действий в паре или группе, отработка условных сигналов;
- применение гидравлического и ручного инструмента для резки, разборки конструкций.

Для решения обозначенных проблем разработана модель мобильного тренажёра, ориентированного на отработку вышеперечисленных навыков со следующими конструктивными особенностями:

В качестве основного материала выбран полипропилен, который обладает оптимальным соотношением лёгкости, прочности, коррозионной стойкости и низкой стоимости. Тренажёр легко ремонтируется методом сварки, склеивания или болтового соединения. Конструкция является сборно-разборной, состоит из четырёх основных модулей, соединяемых стыковым способом, что обеспечивает мобильность, простоту транспортировки, хранения и быстрого развёртывания как в бассейне, так и в открытом водоёме. Тренажёр имеет пирамидальную форму высотой 1,5 м с квадратным основанием 2×2 м, что позволяет комфортно работать водолазу в полном снаряжении.

Модель тренажёра представляет собой многофункциональный комплекс, интегрирующий несколько зон для отработки навыков:

Зона болтовых соединений. На боковой грани тренажёра расположены болты с гайками разного диаметра. Данная зона предназначена для отработки навыков мелкой моторики (откручивание и закручивание гаек в перчатках, в том числе и на время в формате соревнований).

Зона фланцевых соединений. Тренажёр включает участок труб, смонтированных на фланцах, что позволяет водолазам отрабатывать навыки монтажа и демонтажа разъёмных соединений, критически важных при ремонте подводных трубопроводов.

Модуль заграждения из арматуры. С помощью специальных креплений на тренажёре монтируется решётка из арматурных прутьев, имитирующая люк, иллюминатор или другое препятствие (рис. 1). Задача водолаза – с помощью

гидравлического инструмента перекусить арматуру конструкции и пройти через нее, имитируя проникновение в аварийное судно.

Система верёвочных препятствий. На верхней части тренажёра размещена сеть из труб, через которую пропускается верёвка с множеством узлов (рис. 2). Водолаз отрабатывает навыки развязывания узлов под водой, их перевязывания или разрезания, а также прохождения через верёвочные препятствия.



Рис. 1. Модуль заграждения из арматуры



Рис. 2. Система верёвочных препятствий

Особенностью эксплуатации данного тренажёра является универсальность применения: в условиях закрытых водоёмов и бассейнов его фиксация осуществляется с помощью вакуумных присосок, обеспечивающих устойчивое положение на дне, а при использовании в открытых акваториях с имитацией реальных факторов среды (ограниченная видимость, течение, пониженная температура) стабилизация конструкции достигается применением стандартных водолазных ремней с грузовыми элементами. Такое конструктивное решение позволяет проводить тренировки в различных условиях, максимально приближенных к реальной обстановке, обеспечивая при этом необходимую безопасность и эффективность обучения.

Сборка тренажёра может осуществляться как на суше, так и непосредственно под водой на рабочей глубине, что позволяет, помимо отработки технических навыков монтажа, эффективно тренировать взаимодействие в водолазной паре, координацию действий, невербальную коммуникацию и алгоритмы совместного решения задач в условиях, максимально приближенных к реальным.

На основе анализа исследований в педагогической области установлено, что эффективность обучения определяется комплексом параметров, основными из которых являются временные показатели, а также качество усвоения материала [7, 8]. Таким образом, для оценки функциональных показателей эффективности мобильного тренажёра необходимо ввести комплексный показатель (Э), представляющий собой функцию от нормированных временных (Т) и качественных (Q) параметров выполнения контрольных упражнений, который позволит учесть все значимые характеристики его эффективности.

В формализованном виде задача оценки заключается в определении такого показателя Э, который обеспечивает максимальный прирост эффективности тренажёра по заданным параметрам:

$$\mathcal{E} = k_1 \cdot \frac{T_0}{T_1} + k_2 \cdot \frac{Q_1}{Q_0},$$

где T_0, T_1 – среднее время выполнения упражнения на тренажёре до и после тренировки, соответственно, мин;

Q_0, Q_1 – средний показатель качества выполнения упражнения до и после тренировки, соответственно, %;

k_1, k_2 – весовые коэффициенты, отражающие важность временных и качественных факторов ($k_1 + k_2 = 1$). В условиях водолазных работ, где важны и скорость, и точность, принято $k_1 = k_2 = 0,5$. При необходимости в зависимости от приоритетов над временными и качественными задачами обучения соотношение весов представленных коэффициентов можно изменять.

Для сравнительного анализа эффективности представленного мобильного тренажёра с базовыми методами обучения или аналогами вводится интегральный показатель прироста эффективности обучения ($\Delta\mathcal{E}$, %):

$$\Delta\mathcal{E} = \left(\frac{\mathcal{E}_{\text{тр}} - \mathcal{E}_{\text{бтр}}}{\mathcal{E}_{\text{бтр}}} \right) \cdot 100 \% \rightarrow \max,$$

где $\mathcal{E}_{\text{тр}}, \mathcal{E}_{\text{бтр}}$ – комплексный показатель эффективности для группы, использующей, соответственно, тренажёр или базовый метод (иной комплекс).

Данный показатель количественно характеризует относительное улучшение результатов обучения за счёт практической отработки ключевых навыков на разработанном тренажёрном комплексе.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Разработанный мобильный тренажёр успешно интегрирован в учебный процесс Академии гражданской защиты МЧС России при подготовке курсантов по программе профессионального обучения «Водолаз 4-го разряда», где проходит его апробация и оценка эффективности.

Предложенная модель тренажёра является эффективным решением выявленных проблем. Его ключевые преимущества – это мобильность, низкая стоимость изготовления и ремонта, а также multifunctionality, позволяющая интегрировать его в учебный процесс любого образовательного учреждения или спасательного формирования, в составе которого есть водолазные подразделения.

Использование данного тренажёрного комплекса позволит системно отрабатывать широкий спектр специальных навыков в безопасной контролируемой среде, что напрямую способствует выполнению требований профессионального стандарта, снижению рисков при реальных погружениях и повышению общего уровня готовности водолазных специалистов МЧС России к выполнению задач любой сложности.

Перспективы дальнейшей развития тренажера включают в себя его цифровизацию (интеграцию датчиков для объективного контроля и оценки действий обучаемого), а также создание дополнительных сменных модулей для отработки других видов работ (например, подводная сварка, работа с пневматическим инструментом для установки и проверки герметичности соединений). Реализация указанных направлений позволит создать универсальную учебно-тренировочную платформу, обеспечивающую непрерывное совершенствование практических навыков водолазов, приобретение ими необходимых компетенций в соответствии с требованиями современных профессиональных стандартов и технологий подводно-технических работ.

Список литературы / References

1. Гордиенко, Т. П. Современные учебно-тренировочные комплексы и тренажёры для подготовки будущих водолазов / Т. П. Гордиенко, С. Г. Марченко // Наука сегодня: опыт, традиции, инновации : материалы международной научно-практической конференции, Вологда, 28 июля 2021 года. – Вологда: ООО «Маркер», 2021. – С. 17–19. – EDN OFHJOH
Gordienko, T. P., Marchenko, S. G. *Sovremennyye uchebno-trenirovochnyye komplekсы i trenazhyory dlya podgotovki budushchikh vodolazov* [Modern training complexes and simulators for the training of future divers]. *Nauka segodnya: opyt, tradicii, innovacii: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii* (Vologda, 28/07/2021). Vologda, LLC Marker Publ., 2021, pp. 17-19. (In Russian)
2. Гордиенко, Т. П. Системно-модульная технология организации обучения / Т. П. Гордиенко, С. Г. Марченко // Январские педагогические чтения. – 2021. – № 7 (19). – С. 16–20. – EDN KFCMUF
Gordienko, T. P., Marchenko, S. G. [System modular technology of training organization]. *Yanvarskie pedagogicheskie chteniya*, 2021, no. 7 (19), pp. 16-20. (In Russian)
3. Шеншин, В. М. К вопросу о проблемах правового регулирования водолазных работ в МЧС России / В. М. Шеншин // Право. Безопасность. Чрезвычайные ситуации. – 2023. – № 3 (60). – С. 46–54. – DOI 10.61260/2074-1626-2023-3-46-54 – EDN VEHIZY
Shenshin, V. M. [On the issue of the problems of legal regulation of diving operations in EMERCOM of Russia]. *Right. Safety. Emergency situations*, 2023, no. 3 (60), pp. 46-54. (In Russian)
4. Гордиенко, Т. П. Учебно-тренажерный комплекс «КСТ» для формирования профессиональных умений водолазов / Т. П. Гордиенко, С. Г. Марченко // Январские педагогические чтения. – 2022. – № 8 (20). – С. 7–11. – EDN LCEMTN
Gordienko, T. P., Marchenko, S. G. [Training complex «SGC» for the diver's professional skills formation]. *Yanvarskie pedagogicheskie chteniya*, 2022, no. 8 (20), pp. 7-11. (In Russian)
5. Мясников, Д. В. Особенности обучения водолазов 4-го разряда в академии гражданской защиты МЧС России / Д. В. Мясников // Школа молодых ученых и специалистов МЧС России – 2015 : Сборник статей по материалам научно-практической конференции, г. Железнодорожск, 2015. – ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия» Государственной противопожарной службы МЧС России, 2015. – С. 89–93. – EDN VRJNLX
Myasnikov, D. V. [Features of training of 4th category divers at the Academy of Civil Protection of the EMERCOM of Russia]. *Nauka na sluzhbe MChS Rossii: materialy nauchno-prakticheskoy konferencii* (Zheleznogorsk, 2015). SFRA of EMERCOM of Russia, 2015, pp. 89-93. (In Russian)
6. Веселов, А. В. Комплексная методика оценки эффективности приборов поиска / А. В. Веселов, Р. М. Давыдов, А. В. Кузьмин // Техносферная безопасность. – 2025. – № 3 (48). – С. 99–113. – EDN IGUQUR
Veselov, A. V., Davydov, R. M., Kuzmin, A. V. [Comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of search devices]. *Technosphere Safety*, 2025, no. 3 (48), pp. 99-113. (In Russian)
7. Шубинский, И. Б. Применение методов машинного обучения для прогнозирования опасных отказов объектов железнодорожного пути / И. Б. Шубинский [и др.] // Надежность. – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 43–53. – EDN PEEIGO
Shubinsky, I. B., Zamyshlyayev A. M., Pronevich O. B., Ignatov A. N., Platonov E. N. [Application of machine learning methods for predicting hazardous failures of railway track assets]. *Dependability*, 2020, no. 20 (2), pp. 43-53. (In Russian)
8. Мясников, Д. В. Об участии Академии гражданской защиты МЧС России в международных программах в области подготовки водолазов для зарубежных систем

предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций / Д. В. Мясников // Технологии гражданской безопасности. – 2023. – Т. 20, № S. – С. 54–59. – EDN LMURDE.

Myasnikov, D. V. [About the Participation of the Academy of Civil Protection of the Emercom of Russia in International Programs in the Field of Training Divers for Foreign Emergency Prevention and Response Systems]. *Civil Security Technology*, 2023, vol. 20, no. S, pp. 54–59. (In Russian)

9. Андрийченко, А. М. Разработка профессиограммы специальности «Водолаз» по личностным и психофизиологическим характеристикам / А. М. Андрийченко, П. А. Емущинцев, В. В. Микулич // *Морская медицина*. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 52–62. – DOI 10.22328/2413-5747-2022-8-4-52-62 – EDN HOZPSV

Andreichenko, A. M., Yemushintsev, P. A., Mikulich, V. V. [Determination of a professionogram of the divers specialty according to personal and psychophysiological characteristics]. *Marine medicine*, 2022, vol. 8, no. 4, pp. 52–62. DOI: 10.22328/2413-5747-2022-8-4-52-62 (In Russian)

Дата поступления рукописи 15.01.2026
Рекомендовано к публикации канд. техн. наук А. В. Маевроди

Aleksey Vyacheslavovich Veselov, Cand. of Military Sci., Senior Lecturer of the Department;
e-mail: a.veselov@agz.50.mchs.gov.ru

Mikhail Fedorovich Barinov, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, Head of the Department;
e-mail: m.barinov@agz.50.mchs.gov.ru

Denis Vladimirovich Myasnikov, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department; e-mail: d.myasnikov@agz.50.mchs.gov.ru

Federal State Budget Military Educational Institution of Higher Education

«The Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia»

141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya St., 1A. Phone: 8(495) 624-14-56

DEVELOPMENT OF A MODEL OF A SIMULATOR FOR PRACTICAL SKILLS TRAINING OF DIVERS

Objective. Improving the effectiveness of diver training through the development of a mobile simulator complex.

Methods. A comprehensive research method was applied, including an analysis of literary sources and regulatory documents in the field of diver training, and a detailed review of modern diving simulator complexes.

Results. The design of a mobile, collapsible diving simulator has been developed. An effectiveness assessment model based on the objective function of maximizing the increase in a complex indicator has been proposed, allowing for quantitative justification of the simulator's advantages over traditional training methods and other complexes.

Scientific novelty. It consists in the development of a model of a mobile, collapsible simulator complex integrating zones for practicing key diver skills and in formalizing the process of assessing its effectiveness, which allows for a systematic approach to optimizing both the simulator's design solutions and its application methods.

Practical value. The developed simulator and its assessment methodology have been implemented in the educational process of the Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia. Their use improves the quality of practical training for divers, reduces the time for mastering complex operations, and increases the overall readiness level of diving specialists.

Key words: *diver; diving training; simulator complex; mobility; training effectiveness; complex indicator.*

For citation: Veselov A. V., Barinov M. F., Myasnikov D. V. Development of a model of a simulator for practical skills training of divers. *Scientific Bulletin of the NII «Respirator»*, 2026, no. 3 (63), pp. 121–127. EDN BODBPS

Публикационная этика

Редакция «Научного вестника НИИ «Респиратор»» придерживается принятых международным сообществом принципов публикационной этики (Рекомендации Комитета по этике научных публикаций (COPE)) и учитывает опыт авторитетных отечественных изданий, руководствуется международными правилами охраны авторского права, нормами действующего законодательства РФ, а также международными издательскими стандартами.

Все рукописи проходят рецензирование и редактуру.

Во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (плагиат, изложение недостоверных сведений и др.), в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, признания общественностью полученных автором научных результатов члены редакции, авторы, рецензенты обязаны соблюдать нижеизложенные этические стандарты.

Этические обязательства редакторов

1. Редакторы и рецензенты должны уважать интеллектуальную независимость авторов, при этом редакция оставляет за собой право отклонять, сокращать и редактировать статьи, исходя из редакционной политики издания. Правка согласуется с автором.

2. Редактор должен без предубеждения рассматривать представленные к публикации рукописи, независимо от места работы авторов, их национальной, религиозной принадлежности, гражданства или политических предпочтений.

3. Все публикуемые материалы проходят тщательный отбор и рецензирование. Редакция оставляет за собой право отклонить статью или вернуть ее на доработку. Автор обязан доработать статью в соответствии с замечаниями рецензентов или редакторов.

4. В основе решения о публикации лежат достоверность рассматриваемой работы и ее научная значимость с учетом актуальных требований в отношении авторского права, плагиата и допустимости открытой публикации отдельных материалов.

5. Рукописи, не соответствующие профилю издания, могут быть отклонены без рецензирования. Редактор может совещаться с членами редакционной коллегии и рецензентами во время принятия решения о публикации.

6. Ответственность за принятие или отклонение рукописи лежит на редакторе, при этом учитывается рекомендация рецензента с ученой степенью соответствующего научного направления относительно качества рукописи и достоверности представленных материалов.

7. Редактор и члены редакции не должны предоставлять другим лицам, кроме лиц, которые участвуют в профессиональной оценке данной рукописи, никакой информации, связанной с содержанием рукописи, находящейся на рассмотрении.

8. 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.

9. В случае наличия конфликта интересов вследствие конкурентных, совместных и других взаимодействий и отношений с авторами редакторы должны брать самоотвод от рассмотрения рукописей.

10. Если редактору представлены убедительные свидетельства того, что основное содержание или выводы опубликованной работы 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.

11. Статьи, нарушающие нормы этики научных публикаций, могут быть ретрагированы после публикации, о чем редакция сообщает авторам статьи и организации, где выполнялась работа.

Этические обязательства рецензентов

1. Процедура рецензирования помогает редактору в принятии редакционных решений, а также может помочь автору повысить качество его работы. Рецензент осуществляет научную экспертизу авторских материалов, вследствие чего его действия должны носить непредвзятый характер.

2. Любая рукопись, полученная для рецензирования, является конфиденциальным документом, который нельзя обсуждать с лицами, не имеющими на то полномочий от редактора.

3. Рецензенты не должны использовать или раскрывать неопубликованную информацию, аргументы или интерпретации, содержащиеся в рассматриваемой рукописи, если на это нет согласия автора.

4. Если рецензент считает свою квалификацию недостаточной для рассмотрения рукописи или не имеет достаточно времени для быстрого выполнения рецензирования, или в случае наличия конфликта интересов с авторами, он должен уведомить об этом редактора и отказаться от рецензирования соответствующей рукописи.

5. Рецензент обязан давать объективную оценку. Личная критика автора неприемлема. Суждения, замечания и вопросы рецензентов должны быть аргументированы и по существу. Любое указание на избыточное заимствование материалов (плагиат, самоплагиат) должно сопровождаться соответствующей ссылкой.

Этические обязательства авторов

1. Представленная статья должна быть законченным научным исследованием и содержать новые научные результаты.

2. Авторы гарантируют, что подают на рассмотрение полностью оригинальные работы. Плагиат во всех формах является неэтичным поведением и неприемлем.

3. Авторы несут ответственность за новизну и достоверность результатов научного исследования. Результаты проведенных исследований должны быть достоверны. Заведомо ошибочные или сфальсифицированные утверждения неприемлемы.

4. Недопустимо представление в несколько изданий одной и той же рукописи для публикации, или уже опубликованной в другом издании статьи. При этом возможна публикация статьи, расширяющей ранее опубликованный краткий предварительный отчет (сообщение) о той же самой работе с обязательным цитированием в данной рукописи более ранней публикации.

5. Авторами публикации (не более 4 человек) могут выступать только лица, которые внесли значительный вклад в формирование замысла, разработку, исполнение или интерпретацию представленного исследования. Окончательный вариант статьи должен быть согласован со всеми авторами и подписан ими. 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 издании.

6. Автор должен цитировать те публикации, которые оказали определяющее влияние на существо излагаемой работы. Следует минимизировать цитирование работ, которые не имеют непосредственного отношения к данному сообщению.

7. В рукописи четко указываются любые опасности и риски, связанные с проведенными исследованиями.

8. Авторы должны поставить редактора в известность о любом потенциальном конфликте интересов, на которые могла бы повлиять публикация результатов, содержащихся в данной рукописи.

Порядок рецензирования авторских рукописей

1. Редакция осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию авторских рукописей, соответствующих специализации и тематике издания, с целью их экспертной оценки.

2. Поступившая в редакцию рукопись научной статьи рассматривается главным редактором (заместителем главного редактора) на предмет соответствия профилю издания. Если рукопись соответствует тематике и содержит новые актуальные результаты, то ее направляют рецензентам (соответствующего профиля) для экспертной оценки.

3. Рецензент оценивает рукопись и дает заключение о целесообразности ее публикации.

4. При наличии в положительной рецензии замечаний по содержанию статьи, статья отправляется автору на доработку.

5. 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.

6. После рецензирования редакция регистрирует авторскую рукопись и совместно с автором ведет подготовку к публикации. Перед публикацией автору представляется отрецензированный сверстаный вариант рукописи для ознакомления.

7. Оригиналы рецензий хранятся в редакции в течение 5 лет.

Правила оформления авторских рукописей

К рассмотрению принимаются авторские рукописи в печатной и электронной версиях (Microsoft Word). Электронный вариант должен быть полностью идентичен печатному. Печатный вариант работы должен быть подписан всеми авторами.

Текст рукописи размещается на странице с полями 2,0 см, первые строки всех абзацев с отступом 1,0 см, шрифт Times New Roman, кегль 14, интервал 1,5. Название статьи, заголовки структурных элементов основного текста выделяются полужирным шрифтом.

Структура рукописи:

- индекс УДК (в верхнем левом углу страницы);
- для всех авторов (не более 4 человек) – полностью *имя, отчество и фамилия*, ученая степень, ученое звание, должность; e-mail, название организации, почтовый адрес, номера телефонов;
- название статьи (до 10 слов) на русском языке;
- реферат на русском языке (от 150 до 250 слов исключительно общепринятой терминологии) должен быть структурирован с выделением следующих элементов: цель; методы; результаты; научная новизна; практическая значимость; ключевые слова (не менее 5 слов и словосочетаний);
 - основной текст статьи;
 - список литературы / References;
 - кем рекомендована статья к публикации;
 - полный список авторов на английском языке, идентичный русскоязычному варианту;
 - название статьи на английском языке;
 - реферат на английском языке, идентичный русскоязычному варианту, с выделением соответствующих структурных элементов (objective, methods, results, scientific novelty, practical value, keywords).

Основной текст статьи должен содержать следующие необходимые элементы:

- постановка проблемы (и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями);
- анализ последних исследований и публикаций;

- выделение не решенных ранее частей общей проблемы;
- цель работы (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 таблицы и рисунки, должен быть от 7 до 10 страниц. При этом графический материал не должен занимать более 25 % общего объема рукописи. Рукопись должна быть изложена лаконично, без повторений данных таблиц и рисунков в тексте.

Формулы – 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 – справа в круглых скобках. Нумеруют только те формулы, на которые есть ссылки в тексте.

Весь графический материал располагают в тексте после ссылок на него.

Диаграммы, схемы, графики, таблицы должны быть доступны для редактирования (Word, Excel, Paint, CorelDRAW, Компас-SD и др.).

Таблицы должны быть компактными, расположены в книжной ориентации, их размер не должен превышать страницу. Все таблицы должны иметь заголовки и быть пронумерованы, если их две или более.

Рисунки (схемы, фотоснимки и др.) должны быть четкими и контрастными, иметь разрешение не менее 300 dpi. Рисунки нумеруют, если их два или более. Подрисовочные подписи обязательны, недопустимо их включать в рисунок.

Все физические величины приводят в системе СИ. Недопустимо математические операторы заменять знаками пунктуации или элементами форматирования текста (например, вместо «минус» ставить «тире», вместо «плюс-минус» – подчеркнутый «плюс», вместо «меньше или равно» – подчеркнутое «меньше»). В тексте, в формулах, в таблицах, на рисунках размер и начертание одних и тех же символов должны совпадать.

Список литературы (не менее 10 источников) приводят в порядке упоминания в тексте; ссылки в тексте обозначают цифрами в квадратных скобках. Оформление библиографического описания на русском языке – согласно ГОСТ Р 7.0.100-2018. Перечень источников должен быть актуальным и содержать не менее половины современных (не старше 10 лет) статей из различных изданий. Самоцитирование допускается в объеме не более 20 % источников.

Не следует включать в список литературы нормативные документы, ГОСТы, патенты – ссылки на них должны быть даны в виде подстрочных сноска непосредственно в тексте статьи.

References размещается непосредственно в списке русскоязычного библиографического описания по следующей универсальной схеме: транслитерация списка авторов; *транслитерация заглавия источника информации* (курсивом) и [в квадратных скобках его перевод на английский язык]; *транслитерация или перевод названия журнала / сборника* (курсивом); выходные данные с обозначениями на английском языке; обозначение источника информации после точки в круглых скобках (In Russian). Для англоязычных источников транслитерация не требуется, указывается источник информации (In English).

Рукопись должна быть тщательно проверена, печатный вариант – подписан всеми авторами. Ответственность за содержание статьи несет авторский коллектив.

Статья сопровождается Экспертным заключением о возможности опубликования материалов в открытой печати, Согласием авторов на публикацию.

Авторские рукописи, принятые к публикации, автору не возвращаются.

Не рассматриваются авторские рукописи, которые оформлены небрежно или не соответствуют вышеизложенным требованиям.

Научный вестник НИИ «Респиратор»

2026, № 3 (63)

На русском языке

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

Издатель: 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 15.09.2026. Дата выхода в свет 21.09.2026.
Формат 60×84^{1/8}. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать лазерная.
Усл. печ. л. 15,2. Тираж 50 экз. Заказ № 15. Распространяется бесплатно.

ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»
283048, Донецк, ул. Артема, 157
Телефоны: +7 (856) 252-78-01; 252-78-60

E-mail: respirator@res.80.mchs.gov.ru
URL: <https://niirespirator.organizations.mchs.gov.ru/vestnik>