



НАУЧНЫЙ
ВЕСТНИК
НИИ «РЕСПИРАТОР»



1
2025



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

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК НИИ «РЕСПИРАТОР»

№ 1 (62)

Выходит 4 раза в год

Основан в 1970 г.

Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 1 (62). – 110 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 и издатель:

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

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук	В. Г. Агеев – главный редактор
д-р техн. наук	В. В. Мамаев – заместитель главного редактора
д-р техн. наук	А. Ф. Долженков
д-р техн. наук	С. Г. Ехилевский (Республика Беларусь)
д-р техн. наук	В. А. Канин
д-р техн. наук	А. П. Ковалев
д-р техн. наук	К. Н. Лабинский
д-р техн. наук	Д. Ю. Палеев
д-р техн. наук	Г. П. Стариков
д-р мед. наук	В В. Черкесов
д-р хим. наук	В В. Шаповалов

Издание 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 № 157-03/2016 от 23.03.2016).

Зарегистрировано Министерством информации ДНР. Свидетельство о регистрации печатной версии издания ААА № 000263 от 09.08.2022.

Подписано к печати по рекомендации Ученого совета ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» (протокол № 1 от 27.02.2025).



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

SCIENTIFIC BULLETIN OF THE NII “RESPIRATOR”

No. 1 (62)

Published quarterly

Founded in 1970

Scientific bulletin of the NII «Respirator». – 2025. – No. 1 (62). – 110 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.

Founded and published by:

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

Editorial board:

Dr. Sci. (Tech.)	V. G. Ageyev – Editor-in-chief
Dr. Sci. (Tech.)	V. V. Mamayev – Deputy editor-in-chief
Dr. Sci. (Tech.)	A. F. Dolzhenkov
Dr. Sci. (Tech.)	S. G. Yekhilevskiy (Republic of Belarus)
Dr. Sci. (Tech.)	V. A. Kanin
Dr. Sci. (Tech.)	A. P. Kovalyov
Dr. Sci. (Tech.)	K. N. Labinskiy
Dr. Sci. (Tech.)	D. Yu. Paleyev
Dr. Sci. (Tech.)	G. P. Starikov
Dr. Sci. (Med.)	V. V. Cherkesov
Dr. Sci. (Chem.)	V. V. Shapovalov

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: February 12, 2024).

The publication is included in the Russian Science Citation Index (RSCI) database (Contract No. 157-03/2016 dated March 23, 2016).

Registered by the Ministry of Information of the Donetsk People's Republic. Certificate of the Publication printing version registration: series AAA No. 000263 dated August 09, 2022.

Approved for printing according to the reference of the Academic council of FSI NII «Respirator» EMERCOM of Russia (Protocol No. 1 dated 27.02.2025).

СОДЕРЖАНИЕ

I. Пожарная безопасность

- Пефтибай Г. И.,
Галухин Н. А., Татаров И. А.**
Математическая модель
истечения газодропного потока
с оптимизированным профилем канала
сопла пожаротушающей установки
- Лебедева В. В., Томилов М. К.**
Оптимизация огнетушащих
свойств водной композиции
- Добрякова Е. И.**
Идентификация опасностей и оценка
внешних рисков в процессе тушения
пожаров в условиях военного конфликта
- Удавихин Д. В., Черный К. А.**
Способ обеспечения электростатической
безопасности СИЗОД во взрыво-
и пожароопасных средах

II. Безопасность труда

- Зборщик Л. А., Плетенецкий Р. С.,
Францев В. И.**
Методика измерения относительной
влажности при испытании
самоспасателей на стенде,
имитирующем дыхание человека
- Косарев И. В., Мезников А. В.,
Косарев В. В., Андреев Г. В.,
Чайков Е. М.**
Импортзамещающий очистной
комбайн КДК 1000 для продуктивной
и техногенно безопасной отработки
угольных пластов мощностью 2,5–5,5 м

TABLE OF CONTENTS

I. Fire safety

- Peftibay G. I.,
Galukhin N. A., Tatarov I. A.**
7 Mathematical model
of gas-droplet flow with optimized
nozzle channel profile of fire
extinguishing system
- Lebedeva V. V., Tomilov M. K.**
18 Optimization of fire extinguishing
properties of water-based composition
- Dobryakova E. I.**
26 Hazards identification and external risks
assessment in the process of extinguishing
fires in military conflict conditions
- Udavikhin D. V., Chernyi K. A.**
36 Method for ensuring Electrostatic safety
of Personal respiratory protective
equipment in Explosive and Fire
hazardous Environments

II. Occupational safety

- Zborshchik L. A., Pletenetskiy R. S.,
Frantsev V. I.**
44 The method of measuring
relative humidity when testing
self-rescuers on Stand simulating
human breathing
- Kosarev I. V., Meznikov A. V.,
Kosarev V. V., Andreyev G. V.,
Chaykov E. M.**
51 Import-substituting KDK 1000
shearer for productive
and technogenically safe mining
of coal seams with depth of 2.5–5.5 m

Дмитриев С. А.

Законы распределения случайных величин в обосновании требований к измерениям при координатном управлении робототехническими комплексами

Симонов А. М., Мавроди А. В., Ивахненко А. В.

Ведение горноспасательных работ в необслуживаемых горных выработках шахт

III. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Кузьмин А. В., Васин М. М., Баринов М. Ф., Мясников Д. В.
Предиктивная диагностика аварийно-спасательных машин тяжелого класса с применением средств телеметрии

Матвийчук А. А.

Анализ парашютных систем, применяемых парашютистами-спасателями

Иванов Е. В.

Принципы построения системы поддержки принятия решений по обеспечению защищенности населения от чрезвычайных ситуаций техногенного характера

Кушнир О. Г.

Требования к перспективным техническим средствам обеспечения жизненно важных потребностей населения при ликвидации последствий наводнений

Dmitriev S. A.

Random variables distribution laws in substantiation of measurement requirements in coordinate control of robotic complexes

Simonov A. M., Mavrodi A. V., Ivakhnenko A. V.

Conducting mining rescue operations in unattended mine workings

III. Safety in emergency situations

Kuzmin A. V., Vasin M. M., Barinov M. F., Myasnikov D. V.
Predictive diagnostics of heavy-duty rescue vehicles using telemetry tools

Matviychuk A. A.

Analysis of parachute systems used by pararescues

Ivanov E. V.

Principles of building a decision support system to ensure the protection of the population from man-made emergencies

Kushnir O. G.

Requirements to promising technical means of providing vital needs of the population during liquidation of floods consequences

I. Пожарная безопасность

УДК [614.844.2:532.525]:[532/529.5:001.891.572]

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

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

Федеральное государственное казенное учреждение

«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»

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

Игорь Александрович Татаров, преподаватель; e-mail: i.tatarov@igps.80.mchs.gov.ru

Федеральное государственное казенное образовательное учреждение

высшего образования «Донецкий институт ГПС МЧС России»

283050, Донецк, ул. Розы Люксембург, 34А. Тел.: +7 (949) 305-76-66

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗОКАПЕЛЬНОГО ПОТОКА С ОПТИМИЗИРОВАННЫМ ПРОФИЛЕМ КАНАЛА СОПЛА ПОЖАРОТУШАЩЕЙ УСТАНОВКИ

Цель. Разработка математической модели истечения газокapельного потока с оптимизированным профилем канала сопла для повышения кинетической энергии, полного импульса струи и эффективности пожаротушения.

Методы. Аналитические методы исследований, базирующиеся на фундаментальных физических законах (сохранения энергии, Ньютона-Рихмана, неразрывности потока), теореме об изменении количества движения, уравнении идеального газа.

Результаты. Разработанная математическая модель истечения газовой и капельной фаз в канале сопла пожаротушащей установки позволяет оптимизировать профиль канала сопла и повысить эффективность пожаротушения.

Научная новизна. Уточнено уравнение теплообмена движущейся капли в газовой фазе за счет учета влияния скорости капли. Установлена простая двухпараметрическая алгебраическая зависимость, позволяющая генерировать множество функций давлений и использовать их для оптимизации профиля канала сопла. Предложен комплексный критерий, позволяющий проводить оптимизацию профиля канала сопла одновременно по максимуму кинетической энергии и полному импульсу струи на срезе сопла.

Практическая значимость. Предложенная математическая модель будет использована для численных расчетов газодинамических и конструктивных параметров сопла при его оптимизации.

Ключевые слова: математическая модель; оптимизация; канал сопла; пожаротушащая установка; газодинамические процессы.

Для цитирования: Пефтибай Г. И., Галухин Н. А., Татаров И. А. Математическая модель истечения газокapельного потока с оптимизированным профилем канала сопла пожаротушащей установки // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 1 (62). – С. 7–17. – EDN USEDMI

Постановка проблемы. При тушении пожаров сплошными струями коэффициент использования воды составляет, по данным исследований [1, 2], 5–10 %, остальная вода теряется и наносит вторичный ущерб, заливает нижние этажи зданий.

В научных работах о перспективах повышения эффективности средств пожаротушения настойчиво звучит тема применения «улучшенной воды», например, тонкораспыленной. При ее использовании существенно уменьшается расход (в 10–20 раз), резко увеличивается охлаждающая поверхность реагирующей воды, интенсифицируются фазовые превращения воды в пар, увеличивается общий уровень потерь тепла при пожаре. Однако положительный эффект при использовании тонкораспыленной воды достигается только при высокой

проникающей способности такого потока, когда полный импульс газокapelьного потока превышает импульс восходящего конвективного теплового потока пожара. Очевидно, что максимизация полного импульса тонкораспыленной воды позволит повысить эффективность пожаротушения.

С другой стороны, традиционно применяемый энергетический критерий эффективности сопла хотя и позволяет оптимизировать процессы преобразования энтальпии газовой фазы в кинетическую энергию дисперсной фазы, но не в полной мере соответствует специфике пожаротушения тонкораспыленной водой.

В связи с вышеизложенным актуальной остается задача разработки математической модели оптимизации газодинамических процессов, а также комплексного критерия, учитывающего кинетическую энергию и полный импульс на срезе сопла, что позволит в полной мере реализовать эффективную подачу газокapelьной струи в очаг пожара.

Цель работы. Разработка математической модели истечения газокapelьного потока с оптимизированным профилем канала сопла для повышения кинетической энергии, полного импульса струи и эффективности пожаротушения.

Анализ последних исследований. В работе [3] предложена технология тушения крупных пожаров, включающая формирование высокоскоростного газокapelьного потока большой мощности за счет применения авиационного газотурбинного двигателя. Приведены уравнения газодинамических процессов разгона капель в сопле пожаротушающего устройства, причем уравнение теплообмена для одной капли приведено в виде

$$m_{\kappa} \frac{di_{\kappa}}{dx} = -\alpha f_{\kappa} (T_{\kappa} - T_{\varepsilon}) \frac{d\tau_{\kappa}}{dx}, \quad (1)$$

где m_{κ} – масса капли, кг;

i_{κ} – статическая удельная энтальпия капли Дж/кг;

α – коэффициент теплопередачи, Вт/(м² · К);

f_{κ} – площадь поверхности капли, м²;

$T_{\kappa}, T_{\varepsilon}$ – температуры капель и газа, К;

τ_{κ} – время, с;

x – продольная координата сопла, м.

В публикации [4] приведены результаты исследований и разработка устройств формирования газокapelьных течений в камерах смешивания реактивных двигателей. Рассмотрена система уравнений, описывающая газодинамические процессы в сопле, идентичная предложенной в работе [3] с уравнением теплообмена (1). Правильность применения формулы (1) для описания конвективного теплообмена в двухфазных газокapelьных течениях вызывает сомнение. Во-первых, в уравнение (1) введена новая неизвестная функция τ_{κ} , которая дополнительно увеличивает необходимое количество уравнений в системе уравнений. Это дополнительное уравнение в работах [3, 4] не приведено. Во-вторых, в двухфазных течениях, к которым относится газокapelьный поток, уравнения теплообмена между каплями и газом необходимо приводить с использованием энтальпии торможения. Это утверждение будет доказано ниже на основе закона сохранения энергии в двухфазном адиабатическом течении.

Для решения обратной задачи – получения профиля канала сопла – в работе [4] использована двухпараметрическая функция давления, полученная на основе отрезка косинусоиды в диапазоне $[0, \pi]$. Из-за того, что косинусоида биполярна (на этом отрезке меняет знаки), формула для функции давления существенно усложнена за счет введения знаковой функции и модуля тригонометрической функции. Значительно усложняется и ее производная, входящая в систему уравнений движения двухфазного течения в канале сопла.

В работе [5] приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований высококонцентрированных двухфазных газокapelных потоков в системе «сопло – струя». Критерием эффективности двухфазного потока принята скорость капель на срезе сопла. Установлено, что наиболее существенное влияние на скорость капель оказывает коэффициент загрузки потока каплями, относительная длина сопла, увеличение давления на входе сопла способствует усилению влияния вышеперечисленных двух факторов. В работе [6] разработана математическая модель объемного газокapelного течения с учетом следующих факторов: пленочного течения, дробления и столкновения капель, многодисперсности. Проведено численное моделирование двухфазного течения в сопле, результаты которого согласуются с экспериментальными данными. В исследованиях [7] приведены математические модели динамических процессов в установках с дискретной подачей воды, основанные на описании термодинамических процессов газа в полостях переменного и постоянного объема на основе уравнений адиабат в дифференциальной форме. При исследовании двухфазных газокapelных течений в сужающихся-расширяющихся соплах принята двухскоростная, двухплотностная, однотемпературная математическая модель [8]. Однако недостаток этих математических моделей состоит в том, что в них не учтена разность между температурами газовой и капелной фаз, а также не проведена оптимизация геометрической формы профиля канала сопла.

Результаты исследований. Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой установкой с газодинамическим принципом распыления воды во многом определяется оптимальностью газокapelного сопла. Традиционно под оптимальностью понимают такой геометрический профиль канала газокapelного сопла, при котором величина η_1 , называемая эффективностью газокapelного сопла, принимает наибольшее значение

$$\eta_1 = \frac{K_1}{K_2}, \quad (2)$$

где K_1 – кинетическая энергия двухфазного газокapelного потока на срезе сопла, Дж;
 K_2 – кинетическая энергия гомогенной смеси на срезе сопла, Дж.

Под гомогенной смесью в газокapelном сопле понимают однородную равномерно распределенную по всему объему смесь жидкости и газа, из-за чего поток смеси превращается из двухфазного в однофазное равновесное течение. То есть, температура и скорости фаз совпадают, а потерей энергии на трение о стенки канала пренебрегают. Однако выражение (2) не учитывает основную особенность пожаротушения тонкораспыленной водой, заключающуюся в необходимости реализации импульсного механизма взаимодействия капелного потока с восходящими тепловыми потоками пожара. Режим импульсного

взаимодействия повышает проникающую способность капель воды в область горячей поверхности, что интенсифицирует фазовые переходы воды в пар и, как следствие, повышает эффективность тушения пожара. Если учитывать вышеуказанную особенность пожаротушения тонкораспыленной водой, то критерия (2) недостаточно для оценки эффективности газокapельного сопла. Поэтому в качестве показателя, отвечающего за эффективность пожаротушения, предлагается учитывать критерий η_2

$$\eta_2 = \frac{I_1}{I_2}, \quad (3)$$

где I_1 – полный импульс газокapельного потока на срезе сопла, Н;

I_2 – импульс гомогенной смеси на срезе сопла, Н.

С точки зрения повышения эффективности пожаротушения очевидно необходимо добиваться одновременной максимизации критериев η_1 , η_2 . Поскольку значение каждого из критериев находится в диапазоне $0 \dots 1$, то мультипликативная свертка может служить комплексным показателем эффективности сопла с двухфазным газокapельным течением.

$$\eta = \eta_1^c \eta_2^d, \quad (4)$$

где c , d – показатели степени, определяющие важность (вес) соответствующего критерия.

При условии нормализации показателей c , d ($c + d = 1$, $0 \leq c \leq 1$, $0 \leq d \leq 1$) и одинаковой важности критериев η_1 , η_2 ($c = d$), формула (4) приобретает вид

$$\eta = \sqrt{\eta_1 \eta_2}. \quad (5)$$

Выражение для η_1 найдем в виде отношения кинетической энергии двухфазного потока к кинетической энергии гомогенной смеси

$$\eta_1 = \frac{u_{гcp}^2 + g u_{кcp}^2}{(1 + g) u_{см}^2}, \quad (6)$$

где $u_{гcp}$, $u_{кcp}$, $u_{см}$ – скорости газа, капель и гомогенной смеси на срезе сопла, м/с;

$g = G_k/G_g$ – коэффициент загрузки потока каплями;

G_k , G_g – массовые расходы капель и газа, кг/с.

Формулу для критерия η_2 – отношение полного импульса двухфазного потока к импульсу гомогенной смеси – представим в виде

$$\eta_2 = \frac{u_{гcp} + g u_{кcp}}{(1 + g) u_{см}}. \quad (7)$$

Подставляя выражения (6), (7) в формулу (5), получаем

$$\eta = \frac{1}{(1+g)u_{cm}} \sqrt{\frac{(u_{zcp}^2 + gu_{kcp}^2)(u_{zcp} + gu_{kcp})}{u_{cm}}} \quad (8)$$

Для нахождения u_{zcp} , u_{kcp} , входящих в выражение (8), составим систему уравнений, включающую:

- уравнения движения капельной и газовой фаз;
- уравнения теплообмена между фазами течения;
- уравнение идеального газа;
- уравнение интегрального закона сохранения энергии;
- уравнения неразрывности потока;
- уравнение функции давления.

Уравнения движения газовой и капельной фаз запишем в дифференциальной форме, используя теорему об изменении количества движения

$$G_z du_z = -f_z dP - D_x \frac{f_k dx}{V_k} - \tau \pi D dx, \quad (9)$$

$$G_k du_k = -f_k dP + D_x \frac{f_k dx}{V_k}, \quad (10)$$

где u_z , u_k – скорости газа, капля, м/с;

f_z , f_k – площади сечений газовой и капельной фаз, м²;

P – давление, Па;

$D_x = C_x \pi d_k^2 \rho_z (u_z - u_k)^2 / 8$ – сила сопротивления капли, Н;

$C_x = \frac{24}{Re_k} + 4,4\sqrt{Re_k} + 0,32$ – коэффициент аэродинамического сопротивления капли;

$Re_k = \frac{(u_z - u_k)d_k \rho_z}{\mu_z}$ – число Рейнольдса для капли;

V_k – объем капли, м³;

ρ_z – плотность газа, кг/м³;

d_k – диаметр капли, м;

μ_z – коэффициент динамической вязкости газа, Па·с (для воздуха $\mu_z = 18,1 \cdot 10^{-6}$ Па·с);

$\tau = C_f \frac{\rho_z u_z^2}{2}$ – касательное напряжение на стенке канала сопла, Н/м²;

$C_f = \frac{0,079}{Re_z^{0,25}}$ – коэффициент трения газа в канале сопла;

$Re_z = \frac{\rho_z u_z D}{\mu_z}$ – число Рейнольдса для газа;

D – диаметр канала сопла, м.

Диаметр канала сопла найдем по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \left(\frac{G_z}{\rho_z u_z} + \frac{G_k}{\rho_k u_k} \right)}, \quad (11)$$

где ρ_k – плотность вещества капли, кг/м³.

Левые части уравнений (9) и (10) – импульс газовой и капельной фаз. Первые члены правых частей этих же уравнений – движущая сила каждой из фаз, обусловленная давлением P . Знак минус означает, что $dP < 0$. Вторые члены уравнений (9), (10) – сила аэродинамического сопротивления капель, третий член в уравнении (9) учитывает силу трения газа о стенку канала сопла.

Давление $P_o \leq P \leq P_a$ зададим в виде двухпараметрической алгебраической функции

$$P = P_o \left\{ \left(\frac{P_a}{P_o} - 1 \right) \left[2 \left(\frac{x}{l} \right)^m - \left(\frac{x}{l} \right)^{2m} \right]^n + 1 \right\}, \quad (12)$$

где P_o, P_a – давление в начале и на срезе сопла, Па;

l – длина сопла, м;

m, n – варьируемые параметры функции.

Функция давления (12) обладает следующими свойствами:

– плавно изменяется от P_o до P_a на всей длине l сопла, $P(x = 0) = P_o$, $P(x = l) = P_a$,

– обладает двумя экстремумами в начале и в конце сопла $\frac{dP}{dx} \Big|_{x=0} = \frac{dP}{dx} \Big|_{x=l} = 0$.

Варьируемые параметры m, n , а также длина сопла l позволяют получить такой вид функции P , при котором достигается максимум комплексного критерия (8).

По уравнению (12) найдем производную $\frac{dP}{dx}$ для подстановки в уравнения (9), (10):

$$\frac{dP}{dx} = \frac{2mnP_o}{l} \left(\frac{P_a}{P_o} - 1 \right) \left(\frac{x}{l} \right)^{mn-1} \left[2 - \left(\frac{x}{l} \right)^m \right]^{n-1} \left[1 - \left(\frac{x}{l} \right)^m \right]. \quad (13)$$

Используя уравнения идеального газа и формулу (12), составим уравнение

$$\rho_z R_z T_z = P_o \left\{ \left(\frac{P_a}{P_o} - 1 \right) \left[2 \left(\frac{x}{l} \right)^m - \left(\frac{x}{l} \right)^{2m} \right]^n + 1 \right\},$$

из которого находим

$$\rho_z = \frac{P_o \left\{ \left(\frac{P_a}{P_o} - 1 \right) \left[2 \left(\frac{x}{l} \right)^m - \left(\frac{x}{l} \right)^{2m} \right]^n + 1 \right\}}{R_z T_z}, \quad (14)$$

где R_z – универсальная газовая постоянная, Дж/(кг·К).

Между капельной и газовой фазами происходит конвективный теплообмен, подчиняющийся закону Ньютона-Рихмана.

Кроме того, в двухфазном газокапельном потоке выполняется закон сохранения энергии:

$$G_K i_K^* + G_Z i_Z^* = const, \quad (15)$$

где i_K^*, i_Z^* – удельные энтальпии торможения (полная энтальпия) капель и газа, Дж/кг.

Запишем уравнение (15) в дифференциалах

$$G_K di_K^* + G_Z di_Z^* = 0, \quad (16)$$

из которого следует, что приращение теплового потока одной из фаз происходит за счет уменьшения теплового потока другой фазы. Проверим правильность формулы (1). Для этого приведем левую часть (1) к виду (16), умножив обе части уравнения (1) на множитель $\frac{G_K dx}{m_K}$, получим

$$G_K di_K^* = -\frac{\alpha f_K (T_K - T_Z) G_K d\tau_K}{m_K}. \quad (17)$$

Тепловой поток, получаемый газовой фазой, отличается только знаком правой части уравнения (17), то есть

$$G_Z di_Z^* = \frac{\alpha f_K (T_K - T_Z) G_K d\tau_K}{m_K}. \quad (18)$$

Суммируя уравнения (17) и (18), получаем выражение

$$G_K di_K^* + G_Z di_Z^* = 0, \quad (19)$$

из которого следует, что уравнение (19) не совпадает с уравнением (16), а, следовательно, уравнение (1) записано неверно.

Таким образом, уравнение (1) необходимо записать в виде

$$m_K \frac{di_K^*}{dx} = -\alpha f_K (T_K - T_Z) \frac{d\tau_K}{dx}. \quad (20)$$

Исключим неизвестную переменную τ_K из уравнения (20). Элементарный участок пути dx , пройденный каплей за время $d\tau_K$, представим в виде $dx = u_K d\tau_K$, отсюда получаем

$$\frac{d\tau_K}{dx} = \frac{1}{u_K}. \quad (21)$$

Подставляя правую часть уравнения (21) в правую часть уравнения (20) и с учетом того, что $i_K^* = i_K + \frac{u_K^2}{2} = C_{PK} T_K + \frac{u_K^2}{2}$, получаем дифференциальное уравнение теплообмена, записанное для одной капли в газокапельном потоке сопла:

$$\frac{dT_K}{dx} = \frac{\alpha f_K (T_K - T_Z)}{m_K u_K C_{PK}} - \frac{u_K}{C_{PK}} \frac{du_K}{dx}, \quad (22)$$

где C_{pk} – теплоемкость вещества капли (воды), Дж/(кг · К).

Если учесть, что $m_k = \frac{\rho_k \pi d_k^3}{6}$, $f_k = \pi d_k^2$, то уравнение (22) принимает вид

$$\frac{dT_k}{dx} = -\frac{6\alpha f_k (T_k - T_z)}{d_k u_k C_{pk} \rho_k} - \frac{u_k}{C_{pk}} \frac{du_k}{dx}.$$

Закон сохранения энергии для двухфазного газокapельного потока запишем в виде

$$g \left(C_{pk} T_{ko} + \frac{u_{ko}^2}{2} \right) + C_{pz} T_{zo} + \frac{u_{zo}^2}{2} = g \left(C_{pk} T_k + \frac{u_k^2}{2} \right) + C_{pz} T_z + \frac{u_z^2}{2}, \quad (23)$$

где u_{ko} , u_{zo} – скорости капель и газа на входе сопла, м/с;

T_{ko} , T_{zo} – температуры капель и газа на входе сопла, К.

Тогда математическая модель, описывающая газодинамические процессы в сопле, может быть представлена в виде системы уравнений и краевых условий:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{du_k}{dx} = -\frac{1}{\rho_k u_k} \frac{dP}{dx} + \frac{3}{4} \frac{\rho_z}{\rho_k} C_x \frac{(u_z - u_k)^2 g}{d_k u_k} \\ \frac{du_z}{dx} = -\frac{1}{\rho_z u_z} \frac{dP}{dx} - \frac{3}{4} \frac{\rho_z}{\rho_k} C_x \frac{(u_z - u_k)^2 g}{d_k u_k} - \frac{\tau \pi D}{G_z} \\ \frac{dT_k}{dx} = -\frac{6\alpha (T_k - T_z)}{d_k u_k C_{pk} \rho_k} - \frac{u_k}{C_{pk}} \frac{du_k}{dx} \\ g \left(C_{pk} T_{ko} + \frac{u_{ko}^2}{2} \right) + C_{pz} T_{zo} + \frac{u_{zo}^2}{2} = g \left(C_{pk} T_k + \frac{u_k^2}{2} \right) + C_{pz} T_z + \frac{u_z^2}{2} \\ D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \left(\frac{G_z}{\rho_z u_k} + \frac{G_k}{\rho_k u_k} \right)} \\ \frac{dP}{dx} = \frac{2mnP_o}{l} \left(\frac{P_a}{P_o} - 1 \right) \left(\frac{x}{l} \right)^{mn-1} \left[2 - \left(\frac{x}{l} \right)^m \right]^{n-1} \left[1 - \left(\frac{x}{l} \right)^m \right] \\ \rho_z = \frac{P_o \left\{ \left(\frac{P_a}{P_o} - 1 \right) \left[2 \left(\frac{x}{l} \right)^m - \left(\frac{x}{l} \right)^{2m} \right]^n + 1 \right\}}{R_z T_z} \\ C_x = \frac{24}{Re_k} + 4,4 \sqrt{Re_k} + 0,32 \\ Re_k = \frac{(u_z - u_k) d_k \rho_z}{\mu_z} \\ \tau = \frac{0,079}{Re_z^{0,25}} \frac{\rho_z u_z^2}{2} \\ Re_z = \frac{\rho_z u_z D}{\mu_z} \\ \alpha = \left(2 + 0,6 Re_k^{0,5} P_r^{0,33} \right) \frac{\lambda_z}{d_k} \end{array} \right. \quad (24)$$

Система уравнений (24) разрешается относительно следующих функций: u_k, u_z, T_k, T_z , то есть решается обратная задача – определение геометрического профиля $D(x)$ канала газокапельного сопла, согласно задаваемой функции давления P , обладающей указанными выше свойствами. Однако перечень свойств, присущий функции давления P не обеспечивает оптимальность геометрического профиля сопла в смысле максимума комплексного критерия (8). Выражение для функции давления (12) предусматривает наличие варьируемых параметров m, n , изменяя которые и решая систему уравнений (24), находят зависимость $\eta(u_k, u_z)$, например, в виде трехмерного графика (поверхности). На поверхности η находят максимум и соответствующие ему оптимальные значения m^0, n^0 и оптимальные функции $u_k^0, u_z^0, T_k^0, T_z^0, \rho_z^0, D^0$.

Выводы. Разработана математическая модель газодинамических процессов в сопле пожаротушающей установки, отличающаяся тем, что:

- уточнено уравнение теплообмена между движущейся каплей и газовой фазой за счет учета динамической составляющей энтальпии торможения,
- установлена двухпараметрическая алгебраическая функция давления, позволяющая получать множество кривых изменения давления вдоль сопла при существенно меньшей сложности формулы,
- предложен комплексный критерий оптимизации, характеризующий одновременно энергетические и импульсные параметры газокапельной струи.

В дальнейших исследованиях на основе предложенной математической модели будет выполнено численное моделирование и решена задача определения оптимальных геометрических параметров сопла.

Список литературы / References

1. Дубинин, Д. П. Технические средства пожаротушения мелкораспыленной водяной струей / Д. П. Дубинин, К. В. Корытченко, А. А. Лисняк // Проблемы пожарной безопасности. – 2018. – № 43. – С. 45–53.

Dubinina, D. P., Korytchenko, K. V., Lisnyak, A. A. *Tekhnicheskiye sredstva pozharotusheniya melkoraspylennoy vodyanoy struyey* [Technical means of fire extinguishing by applying fine-sprayed water]. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, 2018, no. 43, pp. 45-53. (In Russian)

2. Лисняк, А. А. Повышение эффективности тушения пожаров твердых горючих материалов в зданиях / А. А. Лисняк, П. Ю. Бородич // Проблемы пожарной безопасности. – 2013. – № 34. – С. 115–119.

Lisnyak, A. A., Borodich, P. Yu. *Povysheniye effektivnosti tusheniya pozharov tverdykh goryuchikh materialov v zdaniyakh* [Improving efficiency of extinguishing solid combustible material fires in buildings]. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, 2013, no. 34, pp. 115-119. (In Russian)

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

Istomin, E. A. *Aviatsionnyy GTD v sisteme pozharotusheniya bolshoy moshchnosti i dalnosti deystviya* [Aviation Gas turbine engine in a high-power and long-range fire

extinguishing system : specialty 05.07.05 «Thermal, Electric rocket engines and power plants of aircraft» : Abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Technical sciences / Eugeniya Andreevich Istomin]. Moscow Aviation Institute (National Research University): M, 2012. 26 p. Place of thesis defence: MAI. (In Russian)

4. Антоновский, И. В. Исследование формирования двухфазных газокapельных струй : 05.07.05 «Тепловые двигатели летательных аппаратов» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Антоновский Иван Владимирович; Московский государственный авиационный институт (национальный исследовательский университет). – М., 2016. – 20 с. – Место защиты: МАИ.

Antonovskiy, I. V. *Issledovaniye formirovaniya dvukhfaznykh gazokapelnnykh struy* [Study of the formation of two-phase gas-droplet jets : specialty 05.07.05 «Thermal engines of aircraft» : Abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Technical sciences / Ivan Vladimirovich Antonovskiy]. Moscow Aviation Institute (National Research University): M, 2016. 20 p. Place of thesis defence: MAI. (In Russian)

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

Voronetskiy, A. V. *Eksperimentalnyye i teoreticheskiye issledovaniya dvukhfaznykh gazokapelnnykh techeniy v soplakh i struyakh s vysokoy massovoy kontsentratsiyey zhidkosti v gaze* [Experimental and theoretical studies of two-phase gas-droplet flows in nozzles and jets with high mass concentration of liquid in gas : specialty 05.07.05 «Thermal engines of aircraft» : Abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Technical sciences / Andrey Vladimirovich Voronetskiy]. Moscow Aviation Institute (Technical University): M, 2000. 22 p. Place of thesis defence: MAI. (In Russian)

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

Tsipenko, A. V. *Teoriya i metody povysheniya effektivnosti protivopozharnykh sistem na vozdushnom transporte* [Theory and methods for increasing the efficiency of fire-fighting systems in air transport : specialty 05.26.02 «Safety in emergency situations (in air transport)» : Abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Technical sciences / Anton Vladimirovich Tsipenko]. Research Institute of Low Temperatures of MAI: M, 2006. 41 p. Place of thesis defence: Federal State Unitary Enterprise State Research Institute of Civil Aviation. (In Russian)

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

Yefimenko, V. L. *Povysheniye effektivnosti ustroystv pozharotusheniya s gazodinamicheskim printsipom raspyleniya zhidkosti* [Improving the efficiency of fire extinguishing devices with a gas-dynamic principle of liquid spraying : specialty 05.26.03 «Fire and industrial safety (by industry) (technical sciences)» : Abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Technical sciences / Vitaly Leonidovich Efimenko]. State Budgetary Institution “Research Institute “Respirator” of the Ministry of Emergency Situations of the DPR”: Donetsk, 2022. 20 p.

Place of thesis defence: State Budgetary Institution “Research Institute “Respirator” of the Ministry of Emergency Situations of the DPR”. (In Russian)

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

Efimenko, V. L. *Obosnovaniye geometricheskikh parametrov sopla pozharotushashchego ustroystva* [Justification of the geometric parameters of the nozzle of the fire extinguishing installation]. *Civil Defence Academy Journal*, 2022, no. 2 (30), pp. 12-17. (In Russian)

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

Дата поступления рукописи 30.01.2025

Дата опубликования 19.03.2025

Georgy Ivanovich Peftibay, Cand. of Tech. Sci., Head of Dep.; e-mail: niigd.osmas-1@mail.ru
Nikolay Aleksandrovich Galukhin, Senior Research Officer; e-mail: niigd.osmas-7@mail.ru
Federal State Institution «The Scientific Research Institute «Respirator» EMERCOM of Russia»
283048, Donetsk, Artema St., 157. Phone: +7 (856) 332-78-36

Igor Aleksandrovich Tatarov, Teacher; e-mail: i.tatarov@igps.80.mchs.gov.ru
Federal State Government Educational Establishment of Higher
Vocational Training «Donetsk Institute of SFS of EMERCOM of Russia»
283050, Donetsk, Rosa Luxemburg St., 34 A. Phone: +7 (949) 305-76-66

MATHEMATICAL MODEL OF GAS-DROPLET FLOW WITH OPTIMIZED NOZZLE CHANNEL PROFILE OF FIRE EXTINGUISHING SYSTEM

Objective. Develop the mathematical model of gas-droplet flow with optimized nozzle channel profile to increase the kinetic energy, total jet momentum and fire extinguishing efficiency.

Methods. Analytical research methods based on fundamental physical laws (energy conservation, Newton-Richmann law, flow continuity), the theorem on change in momentum, and the ideal gas equation.

Results. The developed mathematical model of the gas and droplet phases flow in the nozzle channel of fire extinguishing system allows optimizing the nozzle channel profile and increasing the fire extinguishing efficiency.

Scientific novelty. The heat transfer equation for a moving drop in the gas phase has been refined by taking into account the drop velocity effect. Simple two-parameter algebraic dependence has been established, which allows generating a set of pressure functions and using them to optimize the nozzle channel profile. Complex criterion has been proposed that allows optimization of the nozzle channel profile simultaneously for the maximum kinetic energy and the total impulse of the jet at the nozzle exit.

Practical significance. The proposed mathematical model is be used for numerical calculations of the Gas-dynamic and Design parameters of the nozzle during its optimization.

Key words: *mathematical model; optimization; nozzle channel; fire extinguishing system; gas-dynamic processes.*

For citation: Peftibay G. I., Galukhin N. A., Tatarov I. A. Mathematical model of gas-droplet flow with optimized nozzle channel profile of fire extinguishing system. *Scientific bulletin of the NII “Respirator”*, 2025, no. 1 (62), pp. 7-17. EDN USEDMI

УДК 614.842.612

*Виктория Валентиновна Лебедева, нач. отд.; e-mail: v.lebedeva@80.mchs.gov.ru;
Максим Константинович Томилов, инж. II кат.; e-mail: m.tomilov@80.mchs.gov.ru
Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-55*

**ОПТИМИЗАЦИЯ ОГNETУШАЩИХ СВОЙСТВ
ВОДНОЙ КОМПОЗИЦИИ**

Цель. Оптимизация огнетушащих свойств водной композиции на основе натриевого жидкого стекла и сульфата калия.

Методы. Симплекс-решетчатый метод планирования эксперимента, анализ и графический метод представления результатов в виде диаграммы «состав – свойство».

Результаты. Проведены экспериментальные исследования по определению расхода огнетушащей водной композиции с химическими добавками на тушение очага горения в лабораторных условиях. Выполнена оптимизация свойств водной композиции по параметру удельного расхода на тушение очага горения. Получена полиномиальная модель неполного третьего порядка для описания аналитической зависимости «состав – свойство». Построена треугольная диаграмма «состав – расход» для огнетушащей водной композиции.

Научная новизна. Создана новая рецептура огнетушащей водной композиции. Получено аналитическое выражение приведенного полинома неполного третьего порядка для описания зависимости расхода огнетушащей водной композиции на тушение очага горения от ее компонентного состава.

Практическая значимость. Результаты исследования позволяют повысить эффективность тушения пожаров путем сокращения расхода применяемой воды и времени тушения материалов за счет улучшения проникающей и смачивающей способности водных композиций.

Ключевые слова: вода; водорастворимые добавки; жидкое стекло; сульфат калия; симплекс-решетчатый метод планирования эксперимента.

Для цитирования: Лебедева В. В., Томилов М. К. Оптимизация огнетушащих свойств водной композиции // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 1 (62). – С. 18–25. – EDN ZNJOMQ

Постановка проблемы. Для повышения эффективности тушения пожаров широко используют тонкораспыленную воду [1]. В последние годы активно развивается направление модифицирования воды органическими и неорганическими соединениями-добавками, физико-химические свойства которых способствуют изменению теплофизических и реологических свойств огнетушащего вещества и, соответственно, повышающих его огнетушащую способность. Один из механизмов огнетушащего действия модифицированной тонкораспыленной воды заключается в поглощении энергии пламени за счет разложения химических добавок (в основном солей, оксидов щелочных металлов) с выделением инертных газов при попадании в зону горения. Водные композиции, содержащие модификаторы, представляют собой многокомпонентные системы, оптимизация свойств которых с использованием методов численного моделирования является перспективным направлением исследования.

Анализ последних исследований. Созданию новых эффективных химических добавок для повышения огнетушащей способности воды посвящено множество работ [2–5]. Результаты исследований [6] показали, что добавка жидкого стекла и сульфата калия повышает огнетушащую эффективность водной композиции в 2,3 раза. Поэтому дальнейшие исследования по оптимизации огнетушащих свойств

водной композиции, модифицированной жидким стеклом и сульфатом калия, представляются актуальными.

Цель исследования – оптимизация огнетушащих свойств водной композиции на основе жидкого стекла и сульфата калия путем численного моделирования ее компонентного состава.

Методика эксперимента. Критерием оценки и параметром оптимизации огнетушащей эффективности водной композиции принят удельный расход на тушение модельного очага горения (автомобильного бензина марки А-95).

Оптимизация проведена с использованием метода симплекс-решетчатого планирования эксперимента. Для получения модели, отображающей наиболее существенные взаимосвязи между огнетушащими свойствами водных композиций и последующей оценки адекватности модели, проведена серия предварительных экспериментов. Методика проведения экспериментов подробно описана в работе [6]. В результате экспериментов установлено время, затраченное на прекращение горения модельного очага с использованием тонкодисперсной водной композиции. Расход композиции на тушение очага горения Q , мл/с, определяли по формуле

$$Q = \frac{V_0 - V_1}{\tau_0}, \quad (1)$$

где V_0 – начальный объем композиции, мл;

V_1 – объем композиции, оставшейся в распылителе, мл;

τ_0 – время, затраченное на прекращение горения модельного очага, с.

Результаты исследований. В компонентном составе водной композиции присутствуют жидкое стекло (x_1), сульфат калия (x_2) и вода (x_3). Для компонентов композиции выполняется условие аддитивности

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1, \quad (2)$$

где x_1, x_2, x_3 – содержание компонентов в композиции, массовая доля.

Исследована часть области диаграммы «состав – свойство» в виде треугольника (рис. 1) с координатами X_1 (0,15; 0,00; 0,85), X_2 (0,05; 0,10; 0,85), X_3 (0,05; 0,00; 0,95).

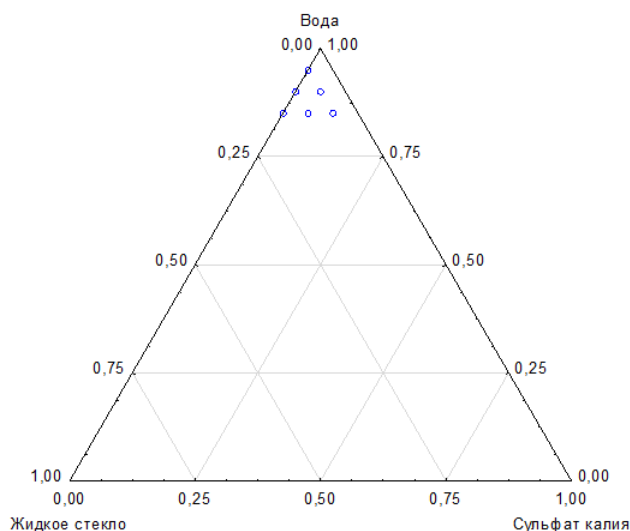


Рис. 1. Диаграмма «состав – свойство»

Вершины треугольника x_i принимались как самостоятельные псевдокоординаты, удовлетворяющие условию $0 \leq x_i \leq 1$ (где $i = 1, 2, 3$).

Трансформирующая зависимость между координатными системами ($X_1; X_2; X_3$) и ($x_1; x_2; x_3$), обеспечивающая условие (2), задана матричным уравнением

$$X = B \cdot x, \quad (3)$$

где X_i – натуральное значение входного фактора, %;

B – координаты вершин симплекса, 1;

x_i – кодированное значение входного фактора, массовая доля.

Уравнение (3) записывается в развернутом виде следующим образом

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,15 & 0,05 & 0,05 \\ 0,00 & 0,10 & 0,00 \\ 0,85 & 0,85 & 0,95 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Матрица планирования эксперимента и состав огнетушащей водной композиции в реальных переменных представлены в табл. 1.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

Номер серии опыта	Входной фактор			Выходной фактор			Построчная дисперсия параллельных опытов S_{0i}^2 , мл/с	Дисперсия воспроизводимости эксперимента S_0^2 , мл/с
	Компонентный состав композиции, массовая доля			Расход композиции для каждого параллельного опыта Q_{ij} , мл/с		Среднее арифметическое значение расхода композиции для параллельных опытов $\bar{Q}$, мл/с		
x_1	x_2	x_3	Номер параллельного опыта					
			1	2				
1	1,000	0,000	0,000	0,888	0,747	0,818	0,00993	0,00628
2	0,000	1,000	0,000	1,034	0,819	0,926	0,02324	
3	0,000	0,000	1,000	0,717	0,770	0,744	0,00142	
4	0,500	0,500	0,000	0,676	0,717	0,696	0,00085	
5	0,500	0,000	0,500	0,756	0,773	0,765	0,00013	
6	0,000	0,500	0,500	0,941	0,819	0,880	0,00748	
7	0,333	0,333	0,333	0,792	0,834	0,813	0,00092	

Проверка однородности дисперсий воспроизводимости параметра оптимизации проведена по критерию Кохрена (C). Расчетное значение критерия Кохрена C_p для параметра оптимизации $\bar{Q}$ составило 0,528. Табличное значение критерия Кохрена $C_{\text{табл.}}$ найдено с учетом доверительной вероятности $P = 0,95$, числа серии

экспериментов $N = 7$, числа параллельных опытов в серии $m = 2$ и числа степеней свободы $f = 1$. Значение $C_{\text{табл.}}$ составило 0,727.

Поскольку условие $C_p < C_{\text{табл.}}$ выполнено, то гипотеза об однородности дисперсий групп наблюдений принимается.

Уравнение приведенного полинома неполного третьего порядка для трехкомпонентной системы в псевдокоординатах имеет следующий вид

$$\bar{Q} = b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (5)$$

где $b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – коэффициенты уравнения полинома, 1.

Коэффициенты уравнения полинома (5) рассчитаны по результатам экспериментальных исследований с применением выражений

$$b_1 = Q_1 \quad (6)$$

$$b_2 = Q_2 \quad (7)$$

$$b_3 = Q_3 \quad (8)$$

$$b_{12} = 4Q_{12} - 2Q_1 - 2Q_2 \quad (9)$$

$$b_{13} = 4Q_{13} - 2Q_1 - 2Q_3 \quad (10)$$

$$b_{23} = 4Q_{23} - 2Q_2 - 2Q_3 \quad (11)$$

$$b_{123} = 27 Q_{123} - 12(Q_{12} + Q_{13} + Q_{23}) + 3(Q_1 + Q_2 + Q_3) \quad (12)$$

После подстановки вычисленных коэффициентов по формулам (6) – (12) в уравнение (5) получена регрессионная модель (13), которая описывает влияние компонентного состава на расход огнетушащей композиции

$$\bar{Q} = 0,818 x_1 + 0,926 x_2 + 0,744 x_3 - 0,703 x_1 x_2 - 0,064 x_1 x_3 + 0,179 x_2 x_3 + 1,328 x_1 x_2 x_3. \quad (13)$$

Абсолютные значения коэффициентов при слагаемых уравнения (13) показывают количественное воздействие каждого фактора на результативный показатель – расход композиции. Чем выше значение коэффициента, тем большее влияние оказывает соответствующий фактор на результативный показатель. Характер влияния факторов определяют знаки коэффициентов уравнения полинома. Знак плюс свидетельствует о том, что с увеличением значения фактора растет величина параметра оптимизации, а при знаке минус – убывает.

Из уравнения (13) следует, что наибольшее воздействие на огнетушащие свойства водной композиции оказывает тройная система $(1,328 x_1 x_2 x_3)$. После определения коэффициентов уравнения (13) проведена оценка их значимости по критерию Стьюдента при выполнении условия неравенства

$$|b_i| \geq t \cdot S(b_i) \quad (14)$$

где $|b_i|$ – модуль значения коэффициента регрессии, 1;

t – табличное значение критерия Стьюдента, 1;

$S(b_i)$ – квадратическая ошибка коэффициента регрессии, 1.

Для числа степеней свободы $f=7$ и доверительной вероятности $P=0,95$ произведение $t \cdot S(b_i)$ составило 2,45. Абсолютные значения всех коэффициентов модели (13) удовлетворяют неравенству (14), что подтверждает их значимость в модели.

Адекватность модели (13) оценивали с применением критерия Фишера путем сравнения его расчетного значения с табличным, проверка проведена в двух дополнительных точках симплекса (табл. 2). Табличное значение критерия Фишера при доверительной вероятности $P=0,95$, числе степеней свободы $f_1=6$ при определении дисперсии адекватности и $f_2=7$ при определении дисперсии воспроизводимости, составило 4,2.

Таблица 2

Результаты оценки адекватности модели

Номер серии опыта	Входной фактор			Выходной фактор			Расчетное значение расхода композиции $\bar{Q}_i^p$, мл/с	Расчетное значение критерия Фишера F , 1
	Компонентный состав композиции, массовая доля			Расход композиции для каждого параллельного опыта Q_{ij} , мл/с		Среднее арифметическое значение расхода композиции i -го опыта $\bar{Q}$, мл/с		
				Номер параллельного опыта				
	x_1	x_2	x_3	1	2			
1	0,2	0,7	0,1	0,764	0,751	0,758	0,771	0,02
2	0,4	0,4	0,2	0,727	0,793	0,760	0,760	

Представленные данные свидетельствуют о том, что гипотеза о неадекватности модели (13) отвергается, поскольку расчетное значение критерия Фишера меньше табличного для обоих проверочных составов.

Обработка данных, полученных с помощью симплекс-решетчатого планирования эксперимента, а также рассчитанных по модели (13) проведена с помощью табличного редактора Excel с применением STATISTICA 10.0 – универсальной интегрированной системы, предназначенной для статистического анализа. Результаты экспериментальных исследований и данные математической обработки позволили построить треугольную диаграмму «состав – расход» (рис. 2).

На диаграмме наглядно видны области с минимальным (менее 0,7 мл/с) и максимальным (более 0,92 мл/с) расходом на тушение очага возгорания водной композицией. Результаты оптимизации огнетушащих свойств композиции подтвердили данные предыдущих экспериментов, на основании которых установлено, что наиболее оптимальным для тушения пожара является состав, состоящий из жидкого стекла, сульфата калия и воды в процентном соотношении компонентов 10 : 5 : 85 соответственно.

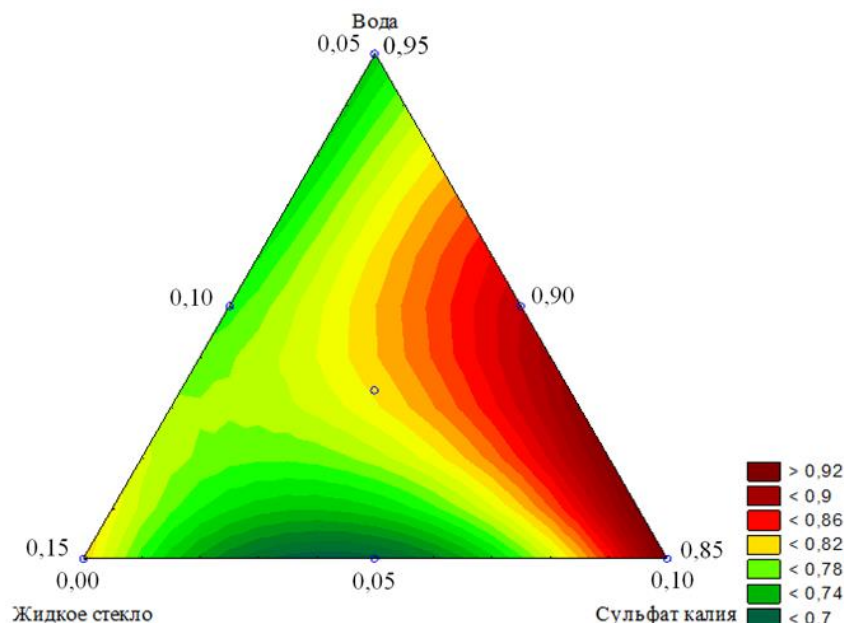


Рис. 2. Диаграмма «состав – расход» для огнетушащей водной композиции

Вывод. В результате оптимизации установлены рациональные соотношения компонентов огнетушащей композиции: 10...13 масс. % жидкого стекла, 5...7 масс. % сульфата калия и 85 масс. % воды, при которых достигается минимальный расход (менее 0,7 мл/с) воды на тушение очага возгорания.

Список литературы / References

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

Zasyпка, P. A. *Etapy razvitiya sistemy avtomaticheskogo pozharotusheniya tonkoraspylennoy vody. Zarubezhnyy opyt* [Stages of automatic fire extinguishing system with thinly sprayed water. Foreign experience]. *Theory and practice of modern science*, 2020, no. 2 (56). pp. 78-81. (In Russian)

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

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

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

Korolchenko, D. A. *Otsenka vremeni blokirovaniya putey evakuatsii opasnymi faktorami pozhara v zdaniyakh i sooruzheniyakh s uchetom mekhanizma tusheniya plameni veshchestvami razlichnoy prirody i stepeni dispersnosti* [Estimation of the evacuation routes blocking time caused by fire hazards in buildings and structures, taking into account the mechanism of extinguishing the flame with substances of various nature and degree of dispersion: 05.26.03 «Fire and Industrial Safety» (construction) specialty: Candidate of Technical Sciences dissertation / Korolchenko Dmitriy Aleksandrovich]. Moscow, 2021, 391 p. Place of thesis defence: Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)». (In Russian)

4. Жуйков, В. А. Анализ проблем повышения эффективности теплопереноса в создании новых огнетушащих составов / В. А. Жуйков, Н. Н. Старков, К. А. Руфанов // Военный инженер. – 2017. – №2 (4). – С. 40–48. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-problem-povysheniya-effektivnosti-teploperenosav-sozdanii-novyh-ognetushaschih-sostavov> (дата обращения: 07.10.2024).

Zhuykov, V. A., Starkov, N. N., Rufanov, K. A. *Analiz problem povysheniya effektivnosti teploperenosa v sozdanii novykh ognetushaschikh sostavov* [Analysis of problems of heat transfer efficiency improvement in development of new fire-extinguishing compositions]. *Voennyi inzhener*, 2017, no. 2 (4), pp. 40–48. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-problem-povysheniya-effektivnosti-teploperenosav-sozdanii-novyh-ognetushaschih-sostavov> (accessed: 07/10/2024). (In Russian)

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

Yurkina, V. A., Romantsov, I. I. *Analiz effektivnosti zhidkofaznykh ognetushaschikh sostavov na osnove zhidkogo stekla* [Analysis of efficiency of sodium silicate solute-based liquid phase fire-extinguishing compositions]. *Ekologiya i bezopasnost v tekhnosfere: sovremennye problemy i puti resheniya*: Proceedings of the All-Russian young scientists, post-graduates and students scientific and practical conference, Tomsk, 2015, vol. 2, pp. 342–344. (In Russian)

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

Lebedeva, V. V., Tomilov, M. K. *Vliyaniye antipirenov na povysheniye ognetushaschey sposobnosti vody* [Antipyrine effect on enhancement fire-suppressing capacities of water]. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2024, no. 2 (61), pp. 103–111. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А. Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 15.10.2024
Дата опубликования 19.03.2025

Victoria Valentinovna Lebedeva, Head of Department; e-mail: v.lebedeva@80.mchs.gov.ru;

Maxim Konstantinovich Tomilov, eng.; e-mail: m.tomilov@80.mchs.gov.ru

Federal State Institution «The Scientific Research Institute «Respirator» EMERCOM of Russia»
283048, Donetsk, Artyoma St., 157. Phone: +7 (856) 332-78-55

OPTIMIZATION OF FIRE EXTINGUISHING PROPERTIES OF WATER-BASED COMPOSITION

Objective. Optimization of fire extinguishing properties of water-based composition containing sodium liquid glass and potassium sulfate.

Methods. Simplex-lattice method of experiment design, analysis and graphical method of results presentation in the form of composition-property diagram.

Results. Experimental studies have been carried out to determine the consumption of fire extinguishing water-based composition containing chemical additives for extinguishing a combustion source in laboratory conditions. Optimization of the properties of the water-based composition according to the parameter – consumption for extinguishing the combustion source. Incomplete third-order polynomial model is obtained to describe the analytical composition – property dependence. Triangular composition – consumption diagram for a fire extinguishing water composition has been constructed.

Scientific novelty. A new formulation of a fire extinguishing water composition has been created. Analytical expression of the reduced incomplete third order polynomial is obtained to describe the dependence of the consumption of a fire extinguishing water-based composition on extinguishing a combustion source on its component composition.

Practical significance. The study results make it possible to increase the efficiency of fire extinguishing by reducing the consumption of water used and the extinguishing time of materials by improving the penetrating and wetting ability of water-based compositions.

Keywords: *water; water-soluble additives; liquid glass; potassium sulfate; simplex-lattice method of experiment design.*

For citation: Lebedeva V. V., Tomilov M. K. Optimization of fire extinguishing properties of water-based composition. *Scientific bulletin of the NII “Respirator”*, 2025, no. 1 (62), pp. 18-25. EDN ZNJOMQ

УДК 614.842.68"364"

Елена Ивановна Добрякова, науч. сопр.; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru
Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-44

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТЕЙ И ОЦЕНКА ВНЕШНИХ РИСКОВ В ПРОЦЕССЕ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В УСЛОВИЯХ ВОЕННОГО КОНФЛИКТА

Цель. Выполнить идентификацию опасностей и оценку внешних рисков в процессе тушения пожаров в условиях военного конфликта для повышения качества принимаемых управленческих решений при выполнении поставленных задач.

Методика. Аналитические исследования методологических подходов к идентификации опасностей и оценке внешних рисков в процессе тушения пожаров в условиях военного конфликта.

Результаты. Разработана модель оценки возможности тушения пожаров в условиях военного конфликта. Рассмотрены внешние факторы, влияющие на деятельность подразделений МЧС в условиях военного конфликта.

Научная новизна. Впервые определены факторы влияния внешней среды на деятельность подразделений МЧС в условиях военного конфликта, обоснованы отличия в выполнении задач по тушению пожаров в мирное время и в условиях военного конфликта, что позволило разработать модель оценки возможности тушения пожаров.

Практическая значимость. Разработка новой методологии по идентификации опасностей и оценке внешних рисков в процессе тушения пожаров в условиях военного конфликта позволит повысить качество принимаемых управленческих решений для выполнения поставленных задач.

Ключевые слова: пожарная часть; воздействие обычных средств поражения; пожарный риск; время прибытия; пожарно-спасательное подразделение; скорость движения; пожарный автомобиль; внешний риск.

Для цитирования: Добрякова Е. И. Идентификация опасностей и оценка внешних рисков в процессе тушения пожаров в условиях военного конфликта // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 1 (62). – С. 26–35. – EDN XNFQLW

Постановка проблемы. Анализ условий выполнения задач по тушению пожаров в условиях военного конфликта (далее – Анализ) проводится ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» на протяжении существования военного конфликта. На основании результатов Анализа выделены аспекты проблемы правового и экономического характера в области тушения пожаров на территории Донецкой Народной Республики, влияющие на качество выполнения поставленных задач. В рамках проводимого исследования установлено, что законодательная база Российской Федерации по организации и осуществлению тушения пожаров, разработанная в мирное время, не учитывает проблемы, возникающие при выполнении поставленных задач в условиях военного конфликта, которые характеризуются наличием рисков, определяемых как воздействием опасных факторов пожара (далее – ОФП), так и последствиями обстрелов, что негативно сказывается на безопасности личного состава и готовности сил и средств ГУ МЧС России по ДНР к выполнению поставленных задач. Имеющаяся у личного состава подразделений спецдежда предназначена для защиты человека только от ОФП и не обладает противоосколочной защитой. Вследствие вышеизложенного возникает противоречие в необходимости дополнительной экипировки личного состава бронежилетами поверх спецдежды и отсутствием исследований её влияния

на физическое состояние пожарных при тушении пожаров. Применение противником беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) порождает проблему уязвимости пожарной техники и личного состава от применяемых средств поражения, что создает условия для невозможности выполнения поставленных задач.

Вышеизложенные факты подчеркивают актуальность проведения исследований для решения проблемы обеспечения возможности выполнения задач по тушению пожаров в условиях военного конфликта. Автор считает, что идентификация опасностей и оценка внешних рисков в процессе тушения пожаров в условиях военного конфликта позволит выявить факторы, определяющие различия в условиях выполнения задач по тушению пожаров в мирное и военное время, и даст возможность выделить проблемы, определяющие эти отличия. Следует предположить, что проведение анализа современного состояния проблемы невозможно без проведения идентификации опасностей и оценки внешних рисков, связанных с тушением пожаров в условиях военного конфликта, теоретического обоснования методологии ее осуществления и без четкого толкования таких базовых понятий, как опасность, риск (в том числе внешний и системный).

Анализ последних исследований. В работе [1] отмечается противоречивость терминов, используемых научным сообществом при толковании понятия «опасности, возникающие при военных конфликтах» (далее – ОВК) и предлагается рассматривать ОВК как термин, определяющий совокупность признаков и угроз, в виде прямой опасности воздействия средств поражения (оружия) и косвенной опасности в виде последствий от его применения.

Согласно определению ГОСТ¹⁾, ОВК – это «совокупность условий, сложившихся в результате угрозы или применения различных видов оружия, вследствие которых возникает угроза, или вероятность, воздействия поражающих факторов (как на население, так и на материальные, культурные ценности и окружающую среду)». В работе [2] понятия «поражающие факторы оружия» и «опасность» отождествляются. К трактовкам понятия «опасность» относится возможность, угроза бедствия [3], «потенциальная возможность возникновения процессов, способных вызвать поражение людей и нанести материальный ущерб»²⁾. В толковом словаре – возможная опасность какой-либо неудачи как риск [4]. Понятие «риск» рассматривается как составляющая триады понятий «опасность – риск – безопасность», необходимых при анализе системы безопасности [5, 6]. При этом отмечается, что управление рисками возможно через изучение отдельных факторов, влияющих на уровень риска.

Цель исследования – выполнить идентификацию опасностей и оценку внешних рисков в процессе тушения пожаров в условиях военного конфликта для повышения качества принимаемых управленческих решений при выполнении поставленных задач.

Результаты исследований. В рамках проведения исследований по идентификации опасностей и оценке внешних рисков в процессе тушения

¹⁾ ГОСТ Р 42.0.02-2023 Национальный стандарт Российской Федерации. Гражданская оборона. Термины и определения основных понятий [Электронный ресурс]: (утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 июня 2023 г. № 458-ст) // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007105>

²⁾ ГОСТ 12.2.047. Система стандартной безопасности труда. Пожарная техника [Электронный ресурс]: (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 30.06.1986 № 1982) // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007105>

пожаров в условиях военного конфликта, автор статьи согласен с идентификацией прямой опасности военных конфликтов, предложенной в работе [1].

В качестве косвенных опасностей, возникающих в условиях военного конфликта, предлагается рассмотреть условия, препятствующие выполнению возложенных на МЧС России задач и, как следствие, создание угрозы для жизни населения и увеличения материального ущерба от пожаров. Условия выполнения поставленных перед МЧС задач характеризуются нестабильностью, высокой степенью воздействия внешней среды на ликвидацию пожаров в кратчайшие сроки, отсутствием полной информации о динамике развития внешней среды, наличием неконтролируемых и плохо контролируемых рискообразующих факторов, наличием элементов случайности. В связи с этим большинство управленческих решений принимается в условиях неопределенности и риска.

Для оценки факторов влияния внешней среды на деятельность МЧС в условиях военного конфликта в исследовании целесообразно использовать термин «внешний риск» как совокупность факторов, вызванных влиянием внешней среды на деятельность системы МЧС и оказывающих влияние на качество выполнения задач по тушению пожаров.

Вопросы влияния внешнего риска на возможность выполнения поставленных перед МЧС задач по тушению пожаров требуют многоплановой оценки. Например, предложен метод оценки возможностей выполнения задач по тушению пожаров в условиях военного конфликта, в основу которого положена оценка устойчивости здания пожарного депо и пожарной техники к воздействию обычных средств поражения [7]. Однако, как показывает десятилетний опыт ГУ МЧС России по ДНР, полученный в процессе ликвидации пожаров в условиях военного конфликта, в основном противник применяет тактику на уничтожение сил и средств МЧС не столько в здании депо, но и как в пути следования к месту вызова, так и во время тушения пожаров. Следовательно, для оценки всех косвенных рисков, связанных с обеспечением тушения пожаров в условиях военного конфликта, необходимо исследовать негативные события, способные причинить вред личному составу подразделений и пожарной технике на всех этапах выполнения поставленной задачи и оценить вероятность их наступления.

Для изучения уникального опыта принятия управленческих решений, наработанного ГУ МЧС России по ДНР за период военного конфликта, в качестве неформализованного метода анализа источников риска использован метод экспертных оценок. Разработанная в рамках исследования модель оценки возможности тушения пожаров в условиях военного конфликта приведена на рис. 1.

Концепция проводимых исследований базируется на результатах Анализа и систематизации закономерностей процесса тушения пожаров в условиях военного конфликта. Выделены направления исследований по влиянию внешних рисков на возможности обеспечения: безопасности личного состава; достаточного для ликвидации пожаров количества сил и средств; нормативного времени прибытия пожарных подразделений к месту вызова; соответствия расчетных и фактических показателей интенсивности подачи и расхода огнетушащих средств.

Согласно результатам проведенного экспертами ранжирования рисков (оценки уровня риска как произведение вероятности риска и степени влияния на выполнение задачи), влияющих на выполнение поставленных задач по тушению пожаров, риск повреждения пожарного автомобиля (далее – ПА) и травмирования личного состава подразделений в результате обстрелов отнесены к красному уровню.

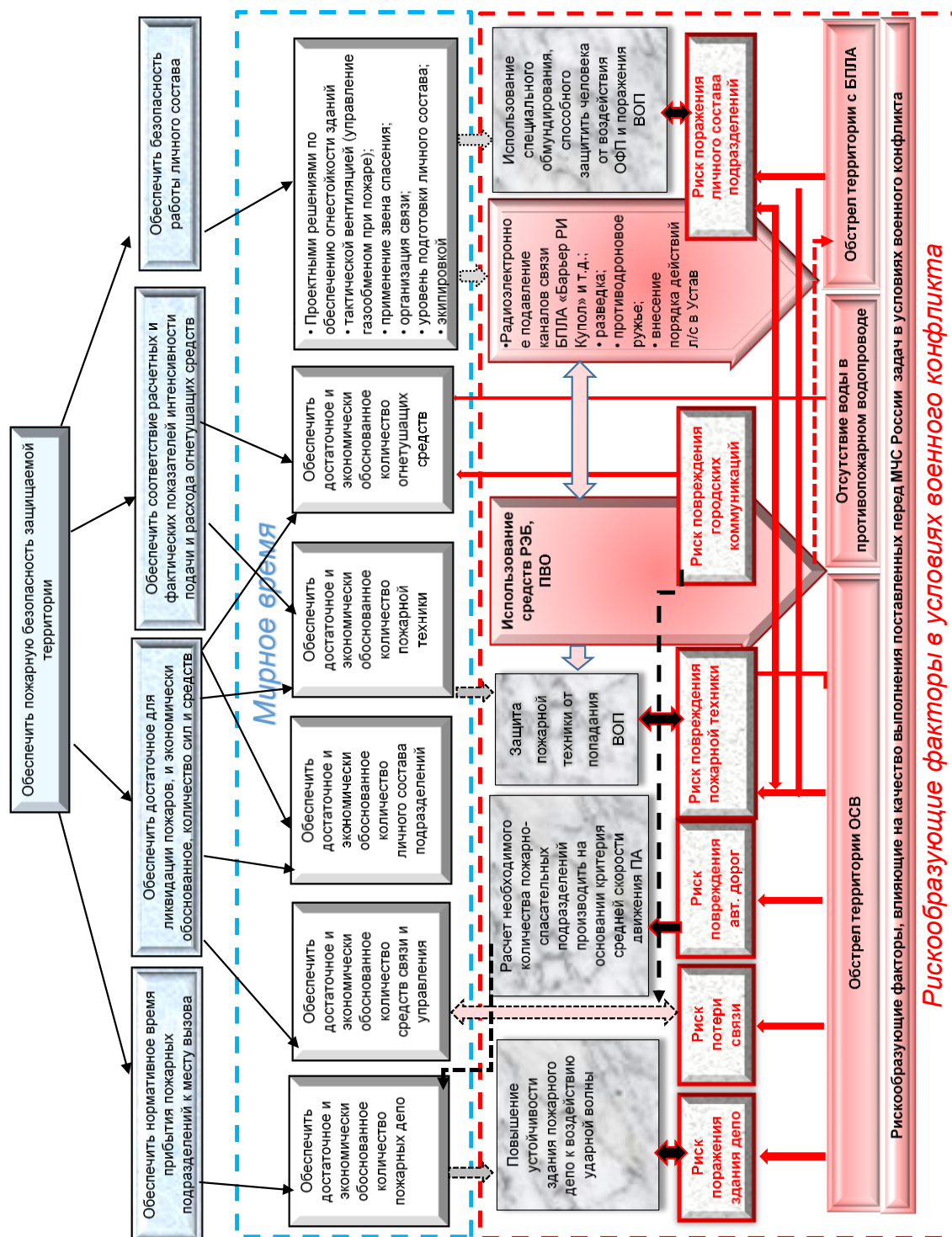


Рис. 1. Блок-схема модели оценки возможности тушения пожаров в условиях военного конфликта

Вследствие этого направление по поиску путей решения проблем, влияющих на обеспечение безопасности личного состава подразделений и сохранности пожарной техники, отнесено к приоритетному.

С целью выполнения анализа факторов, влияющих на качество и возможность выполнения поставленных перед МЧС задач имеющимися силами и средствами, определён набор факторов влияния внешней и внутренней среды на деятельность системы МЧС в целом и качество выполняемых задач (рис. 2).

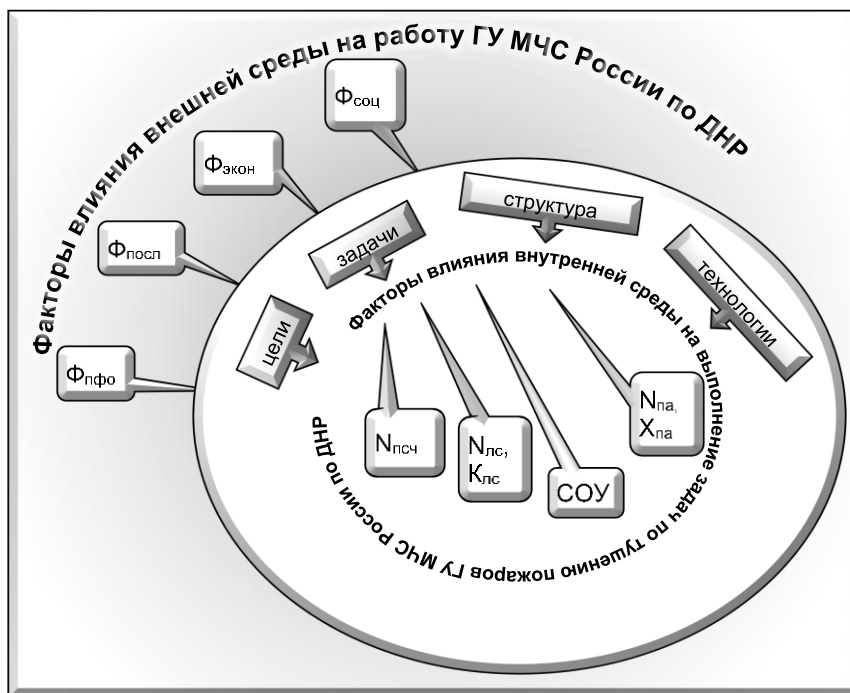


Рис. 2. Факторы влияния внешней и внутренней среды на деятельность системы МЧС по ДНР в целом и качество выполняемых задач

В качестве факторов влияния внутренней среды на деятельность системы МЧС приняты следующие параметры:

- существующее количество пожарно-спасательных подразделений ФПС ГПС МЧС России по ДНР, $N_{псч}$ и тип пожарного депо ПД_{Т I-V};
- имеющееся на балансе количество ПА и их характеристики (в том числе противоосколочная устойчивость ПУ_{па}), $N_{па}$, $X_{па}$;
- количество и квалификация личного состава, $N_{лс}$, $K_{лс}$;
- противоосколочная устойчивость применяемой спецодежды, ПУ_{со};
- система общего управления, СОУ.

В качестве факторов влияния внешней среды на выполнение поставленных перед ГУ МЧС России по ДНР задач в условиях военного конфликта приняты:

- воздействие первичных и вторичных поражающих факторов оружия, применяемого противником, $\Phi_{пф}$;
- последствия применения противником обычных средств поражения, $\Phi_{п}$;
- экономический фактор (финансирование деятельности для обеспечения безопасности личного состава и возможности выполнения поставленных перед ГУ МЧС России по ДНР в условиях военного конфликта), $\Phi_{э}$;
- социальный фактор (кадровый голод, вызванный миграционными процессами и угрозами для жизни личного состава в условиях военного конфликта), $\Phi_{соц}$.

Анализ процесса выполнения задач по тушению пожаров на первом этапе предполагает идентификацию опасностей и оценку внешних рисков, влияющих на возможность прибытия ПА к месту вызова за нормативное время.

В рамках исследования проанализировано влияние внешних факторов на качество и возможность выполнения поставленных перед МЧС задач по тушению пожаров. Основным направлением исследования выбрана оценка скорости движения пожарного автомобиля, времени его прибытия к месту вызова и моделирование зависимости выбранных для исследования показателей от факторов влияния. Модель зависимости результатов расчета времени прибытия пожарного автомобиля, $t_{\text{прУВК}}$, от различных факторов влияния на конечный результат при выполнении поставленных задач в условиях военного конфликта можно представить следующим образом:

$$t_{\text{прУВК}} = f(\Phi_{\text{мв}}, \Phi_{\text{допУВК}}), \quad (1)$$

где $\Phi_{\text{мв}}$ – факторы, влияющие на время прибытия ПА в условиях мирного времени;
 $\Phi_{\text{допУВК}}$ – дополнительные случайные факторы, влияющие на время прибытия ПА в условиях военного конфликта.

$$t_{\text{прУВК}} = f(\Phi_{\text{мв}}, A_{\text{пс}}, D_{\text{воп}}, D_{\text{мин}}, L_{\text{бп}}, A_{\text{мв}}, K_{\text{р}}, O_{\text{о}}, I_{\text{м}}, F, S_{\text{s}}, I_{\text{i}}, P_{\text{f}}) + \xi, \quad (2)$$

где $A_{\text{пс}}$ – артобстрел пути следования ПА;

$D_{\text{воп}}$ – наличие взрывоопасных предметов на дорожном полотне;

$D_{\text{мин}}$ – минирование дорожного полотна;

$L_{\text{бп}}$ – сброс (угроза сброса) ВОП с БПЛА;

$A_{\text{мв}}$ – наличие или угроза обстрелов на месте вызова;

$K_{\text{р}}$ – наличие контрольно-пропускных пунктов военной полиции;

$O_{\text{о}}$ – внезапное изменение качества дорожного покрытия вследствие обстрелов;

$I_{\text{м}}$ – объезд по безопасному маршруту опасных участков (незапланированное изменение маршрута, вызванное обстрелами и последствиями от них);

F – отсутствие возможности движения ПА с включенными фарами в ночное время;

S_{s} – невозможность использования светозвукового сигнала ПА в ночное время (с целью маскировки);

I_{i} – отсутствие информации от военнослужащих о местонахождении минных полей и заграждений;

P_{f} – психологические факторы влияния на ЛС при движении подразделения к месту вызова под обстрелами.

К психологическим факторам влияния на личный состав относятся эмоции (страх гибели), вызванные влиянием внешней среды (обстрелами) и стресс, вызванный восприятием собственной уязвимости и риска развития угрозы для жизни вследствие нахождения в пожарном автомобиле небронированного исполнения под обстрелом, отсутствия противоосколочной экипировки соответствующей степени защиты, РЭБ и т. д.

Как следует из сравнительной оценки внешних рисков, факторы влияния на время прибытия пожарного автомобиля в мирное время, $t_{\text{мв}}$, и в условиях военного конфликта, $t_{\text{увк}}$, и скорость движения пожарного автомобиля к месту вызова на пожар (соответственно, $V_{\text{мв}}$, и $V_{\text{увк}}$, в условиях военного конфликта идентичны и подвержены влиянию целого ряда случайных дополнительных факторов, $\Phi_{\text{допУВК}}$ (рис. 3).

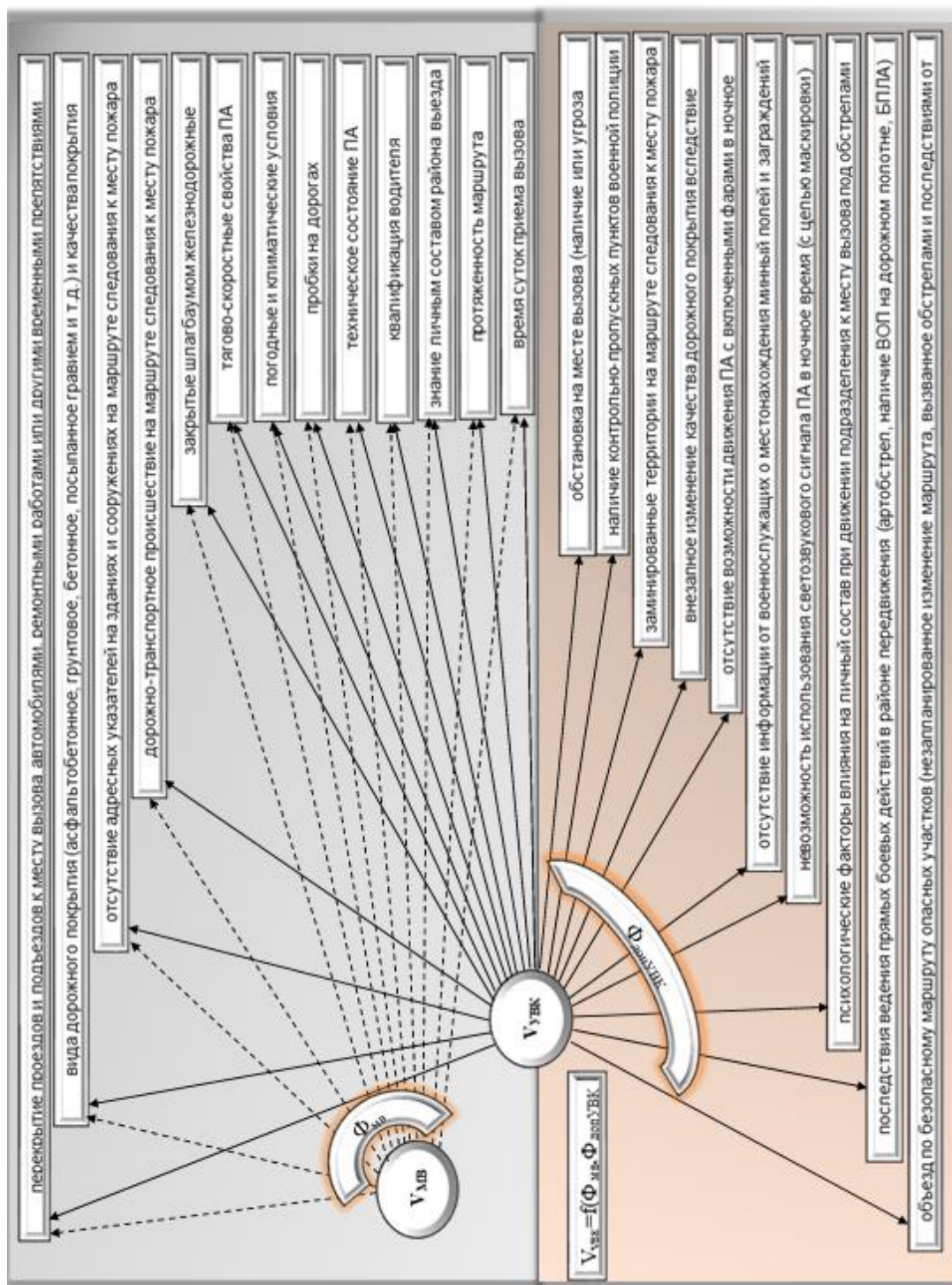


Рис. 3. Сравнительная оценка факторов влияния на скорость движения ПА в мирное время ($\Phi_{мв}$) и дополнительных факторов влияния в условиях военного конфликта ($\Phi_{доп_уэк}$)

Результаты идентификации дополнительных опасностей в процессе выполнения задач по тушению пожаров в условиях военного конфликта приведены в таблице.

Таблица

Идентификация дополнительных опасностей в процессе выполнения задач по тушению пожаров в условиях военного конфликта

Наименование этапа процесса	Опасность	Прогнозируемые последствия				
		Повреждение ПА	Гибель (травмирование) ЛС подразделений	Создание условий для невозможности выполнения задач	Снижение $V_{па}$	Увеличение времени прибытия ПА к месту вызова
Нахождение ПА и ЛС в здании депо	Артобстрел	×	×	×		
	$L_{бп}$	×	×	×		
В пути следования ПА	$A_{пс}$	×	×	×	×	×
	$D_{воп}$	×	×	×	×	×
	$D_{мин}$	×	×	×	×	×
	$L_{бп}$	×	×	×	×	×
	K_p				×	×
	O_o				×	×
	I_m				×	×
	F				×	×
	S_s				×	×
	I_i				×	×
	$A_{мв}$			×		
	P_f			×	×	×
На месте тушения пожара	$A_{мв}$	×	×	×		
	$L_{бп}$	×	×	×		
	Наличие ВОП	×	×	×		

Примечание. × – прогнозируемые последствия опасностей.

Идентификация опасностей в процессе работы подразделений ГУ МЧС России по ДНР в условиях военного конфликта основана на анализе информации о произошедших пожарах, результатах неформализованного метода анализа с использованием метода экспертных оценок и анализе вероятностных сценариев развития событий.

Поиск закономерностей, определяющих особенности выполнения поставленных задач в условиях военного конфликта, выполняется на базе статистических данных. Следует отметить, что риск повреждения ПА вследствие обстрелов и сбросов ВОП с БПЛА зависит от исполнения ПА (бронированный или обычного исполнения).

Расчет вероятности повреждения ПА, $P_{па}$, определялся по формуле

$$P_{па} = \frac{N_{повр о}}{N_o}, \quad (3)$$

где $N_{повр о}$ – количество поврежденных в результате обстрела ПА;

N_o – количество обстрелов ПА.

Вероятность возникновения деструктивных событий для простейшего потока за единицу времени может быть определена по формуле

$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda_o \cdot \tau)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda_o \tau}, \quad (4)$$

где $P_k(\tau)$ – вероятность того, что за время τ на исследуемой территории произойдет k деструктивных событий;

λ_o – интенсивность потока деструктивных событий (среднее число событий за единицу времени).

Выводы. Проведенная в рамках исследования идентификация опасностей и оценка внешних рисков подтвердила наличие различий в условиях выполнения задач по тушению пожаров в мирное и военное время, и реальных проблем, определяющих эти отличия. Выделенные дополнительные факторы влияния внешней среды позволили проанализировать прогнозируемые последствия их воздействия на возможность и качество выполнения задач по тушению пожаров в условиях военного конфликта. Разработанная модель оценки возможности тушения пожаров в условиях военного конфликта отражает общую концепцию исследования и позволила выполнить предварительный анализ возникающих проблем. В качестве дальнейшего развития темы исследований проводятся исследования интенсивности потока пожаров на территориях с различной степенью воздействия внешних рисков и математическое моделирование изучаемых процессов.

Список литературы / References

1. Твердохлебов, Н. В. Некоторые подходы к толкованию понятия «Опасности, возникающие при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов, а также при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера» / Н. В. Твердохлебов // Технологии гражданской безопасности. – 2016. – Т. 13, № 2 (48). – С. 86–90.

Tverdokhlebov, N. V. *Nekotoryye podkhody k tolkovaniyu ponyatiya «Opasnosti, vznikayushchiye pri voyennykh konflikakh ili vsledstviye etikh konfliktov, a takzhe pri chrezvychaynykh situatsiyakh prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera»* [Some approaches to the interpretation of the concept “Dangers arising during military conflicts or as a result of these conflicts, as well as during emergency situations of natural and man-made nature”]. *Civil security technology*; 2016, vol. 13, no. 2 (48), pp. 86-90. (In Russian)

2. Гражданская оборона / Под общ. ред. В.А. Пучкова ; МЧС России. – М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – 377 с.

Grazhdanskaya oborona [Civil defense]. Ed. by ed. V. A. Puchkov; EMERCOM of Russia. M: VNI GOChS (FC); 2016, 377 p. (In Russian)

3. Толковый словарь русского языка / под ред. Д. Н. Ушакова. – М. : Астрель : АСТ, 2000. – 1499 с.

Tolkovyy slovar russkogo yazyka [Explanatory Dictionary of the Russian Language]. Ed. by D. N. Ushakov. M: Astrel: Ast; 2000, 1499 p. (In Russian)

4. Воробьев, Ю. Л. Гражданская защита. Понятийно-терминологический словарь / Ю. Л. Воробьев. – М. : Центр «Геополитика», 2001. – 133 с.

Vorobyov, Yu. L. *Grazhdanskaya zashchita. Ponyatiyno-terminologicheskii slovar* [Civil defense. Conceptual and terminological dictionary]. M. : Tsentr «Geopolitika»; 2001, 133 p. (In Russian)

5. Пожарные риски. Основные понятия / Н. Н. Брушлинский [и др.]. – М., 2004. – 47 с.

Brushlinskiy, N. N., Glukhovenko, YU. M., Korobko, V. B., Sokolov, S. V., Vagner, P., Lupanov, S. A., Klepko, Yu. A. *Pozharnyye riski. Osnovnyye ponyatiya* [Fire risks. Basic concepts]. M.; 2004, 47 p. (In Russian)

6. Пожарные риски : учебное пособие / Н. Н. Брушлинский [и др.]. – М., 2016. – 65 с.

Brushlinskiy, N. N., Sokolov, S. V., Klepko, Yu. A. *Pozharnyye riski : uchebnoye posobiye* [Fire risks: training manual]. M.; 2016, 65 p. (In Russian)

7. Седнев, В. А. Методика оценки возможностей пожарной части города по тушению пожаров в условиях военного конфликта / В. А. Седнев, А. В. Седнев // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2021. – № 1. – С. 64–68.

Sednev, V. A., Sednev, A. V. [Methodology for Assessing Fire Safety Capabilities Parts of the City to Extinguish Fires in a Military Conflict]. Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia; 2021, no. 1, pp. 64-68. (In Russian)

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

Дата поступления рукописи 26.02.2025

Дата опубликования 19.03.2025

Elena Ivanovna Dobryakova, researcher; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru

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

283048, Donetsk, Artyoma St., 157, Phone: +7 (856) 332-78-44

HAZARDS IDENTIFICATION AND EXTERNAL RISKS ASSESSMENT IN THE PROCESS OF EXTINGUISHING FIRES IN MILITARY CONFLICT CONDITIONS

Objective. Identify hazards and assess external risks in the process of extinguishing fires in military conflict conditions.

Methodology. Analytical studies of methodological approaches to identifying hazards and assessing external risks in the process of extinguishing fires in military conflict conditions.

Results. A model for assessing the possibility of extinguishing fires in military conflict conditions has been developed. External factors influencing the activities of the EMERCOM units in military conflict conditions has been considered.

Scientific novelty. For the first time the factors influencing the external environment on the Emergencies Ministry units activities in military conflict conditions have been identified, and the differences in the performance of firefighting tasks in peacetime and in military conflict conditions have been substantiated, which made it possible to develop a model for assessing the possibility of extinguishing fires

Practical significance. The new methodology development for identifying hazards and assessing external risks in the process of extinguishing fires in military conflicts will improve the quality of management decisions made to accomplish assigned tasks.

Keywords: *fire department; impact of conventional weapons; fire risk; arrival time; fire and rescue unit; speed of movement; fire truck; external risk.*

For citation: Dobryakova E. I. Hazards identification and external risks assessment in the process of extinguishing fires in military conflict conditions. *Scientific bulletin of the NII “Respirator”*, 2025, no. 1 (62), pp. 26-35. EDN XNFQLW

УДК [614.83:537.2]:614.894

Дмитрий Владимирович Удавихин, асп., ст. преп. каф.¹, зам. рук.²; e-mail: dmutry88@mail.ru

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,

² Акционерное общество «Авиационные редуктора и трансмиссии – Пермские моторы», 614025, г. Пермь, ул. Героев Хасана, 105Г. Тел.: +7 (961) 759-90-20

Константин Анатольевич Черный, д-р техн. наук, доцент, зав. каф.; e-mail: chernyy_k@mail.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29. Тел.: (342) 219-81-73, +7 (902) 479-12-11

СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИЗОД ВО ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНЫХ СРЕДАХ

Цель. Обеспечение электростатической безопасности средств индивидуальной защиты органов дыхания (респираторов) в условиях взрыво- и пожароопасных технологических процессов промышленных предприятий.

Методы. Экспериментально исследованы электростатические свойства стандартных образцов респираторов и образца респиратора, в конструкцию которого дополнительно введена токопроводящая (металлизируемая) нить с последующим ее заземлением. Накопление электрического заряда на внутренней поверхности респиратора моделировалось путем размещения образцов в высокоионизированную воздушную среду.

Результаты. Экспериментально с использованием бесконтактного метода измерений подтверждена возможность моделирования процесса накопления зарядов на внутренней поверхности респиратора в результате контакта с волосистой частью головы работника путем размещения исследуемого образца респиратора в высокоионизированную воздушную среду. Доказано, что накопленный в такой модельной воздушной среде отрицательный заряд на образцах достигает величины энергии, способной воспламенить ряд рассмотренных горючих газов, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Проведены исследования способа обеспечения электростатической безопасности образца респиратора, в конструкцию которого дополнительно введена токопроводящая (металлизируемая) нить с последующим ее заземлением. Оценка динамики значений электростатических показателей и времени стекания заряда вплоть до достижения безопасных величин позволяет утверждать об эффективности предложенного способа.

Научная новизна. Впервые экспериментально подтверждена необходимость применения в структуре внутреннего слоя респиратора токопроводящей (металлизируемой) нити с ее последующим заземлением для обеспечения безопасности применения респираторов во взрыво- и пожароопасных средах.

Практическая значимость. Полученные результаты исследований позволяют на основе предложенного способа обеспечения электростатической безопасности СИЗОД выработать рекомендации по дополнению программы испытаний и контроля респираторов в процессе их производства требованиями, направленными на установление их электростатических свойств и повышение безопасности труда работников.

Ключевые слова: электростатический разряд; средства индивидуальной защиты органов дыхания; респиратор; взрывопожароопасность; время стекания заряда.

Для цитирования: Удавихин Д. В., Черный К. А. Способ обеспечения электростатической безопасности СИЗОД во взрыво- и пожароопасных средах // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 1 (62). – С. 36–43. – EDN TTJNHN

Постановка проблемы, анализ последних исследований и публикаций. В соответствии с требованиями Свода правил СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» производственные помещения и здания, в которых

обращаются горючие газы (ГГ), легковоспламеняющиеся и горючие жидкости (ЛВЖ и ГЖ), классифицируют по категориям, среди которых наибольший интерес с точки зрения обеспечения безопасности труда представляет категория повышенной взрывопожароопасности. В таких помещениях необходимо предпринимать превентивные меры, направленные на снижение или исключение риска возникновения воспламеняющих рабочую среду электростатических разрядов путем обеспечения электростатической защиты материалов и изделий, применяемых в технологических процессах, а также средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) работников.

Производители респираторов в указаниях по эксплуатации основное внимание уделяют правильности их эффективного применения по назначению. Так, например, в инструкции по эксплуатации предупреждают пользователя относительно снижения эффективности респиратора при его применении работниками с бородой, щетиной и бакенбардами, препятствующими его плотному прилеганию. С другой стороны, проблема состоит еще и в том, что респиратор при контактном взаимодействии с указанными волосистыми частями головы и лица, в процессе его надевания или снятия способен накапливать отрицательный электростатический потенциал вплоть до величин порядка 7–8 кВ, который обладает достаточной энергией для воспламенения многих ГГ, ЛВЖ и ГЖ [1].

При этом требованиями ГОСТ 12.4.299-2015 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Рекомендации по выбору, применению и техническому обслуживанию» установлено, что СИЗОД при использовании работниками во взрывопожароопасной среде должны быть антистатическими и подлежат проверке этих свойств в соответствии ГОСТ 6433.2-71 «Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрического сопротивления при постоянном напряжении». Однако следует констатировать, что в отношении СИЗОД требования ГОСТ 12.4.299 не получили практического выполнения. Тем не менее, если состав воздушной среды в помещении потенциально взрывопожароопасен, то при выборе СИЗОД необходимо оценить его возможность стать источником воспламенения. В сложившихся условиях возникает актуальная научная и практически значимая задача – обеспечить защиту от накопления электрических зарядов на контактных поверхностях СИЗОД.

Статистические данные по пожарам в Российской Федерации показывают, что случаи воспламенения ГГ, ЛВЖ и ГЖ от электростатического разряда случаются не часто, в процентном соотношении к общему количеству пожаров, произошедших от разряда статического электричества за период 2019–2023 гг., составляют в среднем порядка 10 %. Тем не менее, последствия данных пожаров достаточно велики: материальный ущерб в результате указанных видов пожаров составил более 162 млн руб., численность погибших – 11 человек, травмированных – 35 человек. Отметим также, что мировые базы данных не представляют развернутую статистическую информацию о пожарах, возникших в результате электростатических разрядов, в том числе воспламенивших ГГ, ЛВЖ и ГЖ [2].

Цель исследования. Обеспечение электростатической безопасности средств индивидуальной защиты органов дыхания (респираторов) в условиях взрыво- и пожароопасных технологических процессов промышленных предприятий.

Результаты исследований. Для достижения цели и решения поставленной задачи проведено исследование электростатических свойств стандартных

(промышленных) образцов респираторов (первый этап) и электростатических свойств образца респиратора, в котором дополнительно реализованы технические решения по обеспечению антистатических свойств СИЗОД (второй этап).

На первом этапе в качестве объектов исследования выбраны образцы двух респираторов с клапаном выдоха:

- образец № 1 (рис. 1, поз. 1) – респиратор 3М, модель 9914Р, с дополнительной защитой от органических паров и газов (до ПДК), с классом эффективности по аэрозолям FFP1; конструктивно представлен фильтром из полиэстера, полипропилена, угля;

- образец № 2 (рис. 1, поз. 2) – респиратор Spirotek VS2200CV с дополнительной защитой от раздражающего воздействия органических паров (защита от паров легковоспламеняющихся жидкостей, таких как бензин, керосин, спирты и т.п.), класс эффективности по аэрозолям FFP2; фильтрующая часть надежно улавливает загрязняющие вещества из воздуха независимо от их размера и формы.

Исследования проведены с применением бесконтактного метода измерителем параметров электростатического поля ИПЭП-1, который во время проведения испытаний заземлялся.

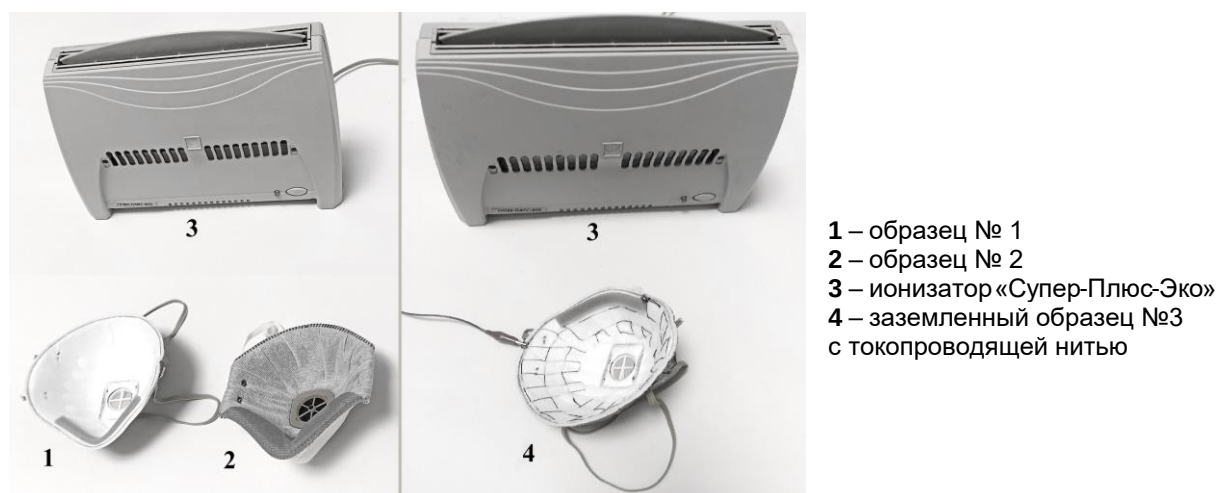


Рис. 1. Общий вид исследований

В целях уменьшения погрешности результатов исследования проводились на расстоянии $2,00 \pm 0,08$ см до объекта (удовлетворяет динамическому диапазону измерений потенциала от $\pm 0,02$ до ± 10 кВ и напряженности электростатического поля от ± 2 до ± 1000 кВ/м), при этом расстояние контролировалось с помощью встроенного лазерного измерителя.

Для посекундной фиксации величин электростатических параметров использовался секундомер электронный «Интеграл С-01» с дискретностью отсчета времени 0,01 сек.

Исследования проведены в лабораторных условиях при температуре окружающего воздуха от $+24$ °С до $+25$ °С, относительной влажности воздуха от 45 до 57 %, атмосферном давлении 720–740 мм рт. ст.

Заряд поверхности СИЗОД, который может возникнуть при контактном взаимодействии «волосистая часть головы – респиратор», имитировался путем размещения исследуемых образцов в отрицательно ионизированную воздушную

среду, сформированную ионизатором «Супер-Плюс-Эко» (рис. 1, поз. 3), расположенным на расстоянии 15 см на одной горизонтальной поверхности с респиратором.

По мере накопления заряда поверхности СИЗОД периодически проводилось измерение электростатических показателей (электростатического потенциала относительно земли, напряженности электростатического поля, поверхностной плотности электрических зарядов).

В аналогичных условиях проведен второй этап исследования, где в качестве исследуемого образца № 3 использован респиратор 3М, модель 9914Р, прошитый токопроводящей (металлизированной) нитью (рис. 1, поз. 4) с шагом 10–12 мм для придания антистатических свойств текстильному слою респиратора [3]. Нить на всей площади внутренней поверхности образца составляет целостную неразрывную электрическую цепь, обеспечивает стекание на заземленные полюса накопленных электрических зарядов на поверхности респиратора [4]. В качестве заземляющего использован медный провод сечением 0,5 мм².

Этап 1. Усредненные (по серии из 10 измерений) значения электростатических параметров исследуемых образцов № 1 и № 2 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения электростатических параметров на внутренней поверхности образцов

Измеряемый параметр	Образец № 1	Образец № 2
Электростатический потенциал относительно земли, кВ	– 2,780	– 1,284
Напряженность электростатического поля, кВ/м	– 146,2	– 271,0
Поверхностная плотность электрических зарядов, мкКл/м ²	– 1,73	– 1,76

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность моделирования процесса накопления заряда на внутренней поверхности респиратора при его контакте с волосистой частью головы путем помещения исследуемых образцов в высокоионизированную воздушную среду. Полученные максимальные значения электростатических параметров сопоставимы с ранее полученными в работе [1] результатами.

Этап 2. Проведены исследования стока накопленных значений заряда на поверхности СИЗОД после заземления токопроводящей нити образца № 3 (рис. 1, поз. 4). Усредненная (по серии из 10 измерений) динамика значений электростатических параметров представлена на рис. 2. Динамика изменения электростатических параметров исследована в диапазоне от максимального начального значения (например, для электростатического потенциала относительно земли равного $e = -2,78$ кВ (см. табл. 1) до значения $1/e = -0,36$ кВ, принятого в соответствии с ГОСТ ИЕС TR 61340-1-2023 «Электростатика. Электростатические явления. Физические основы и методы измерений».

Установлено, что время стекания заряда с наэлектризованного образца № 3 составляет менее 1 сек. Это является хорошим показателем обеспечения электростатической безопасности и подтверждает эффективность применения данного способа защиты от накопления электрических зарядов на поверхности СИЗОД.

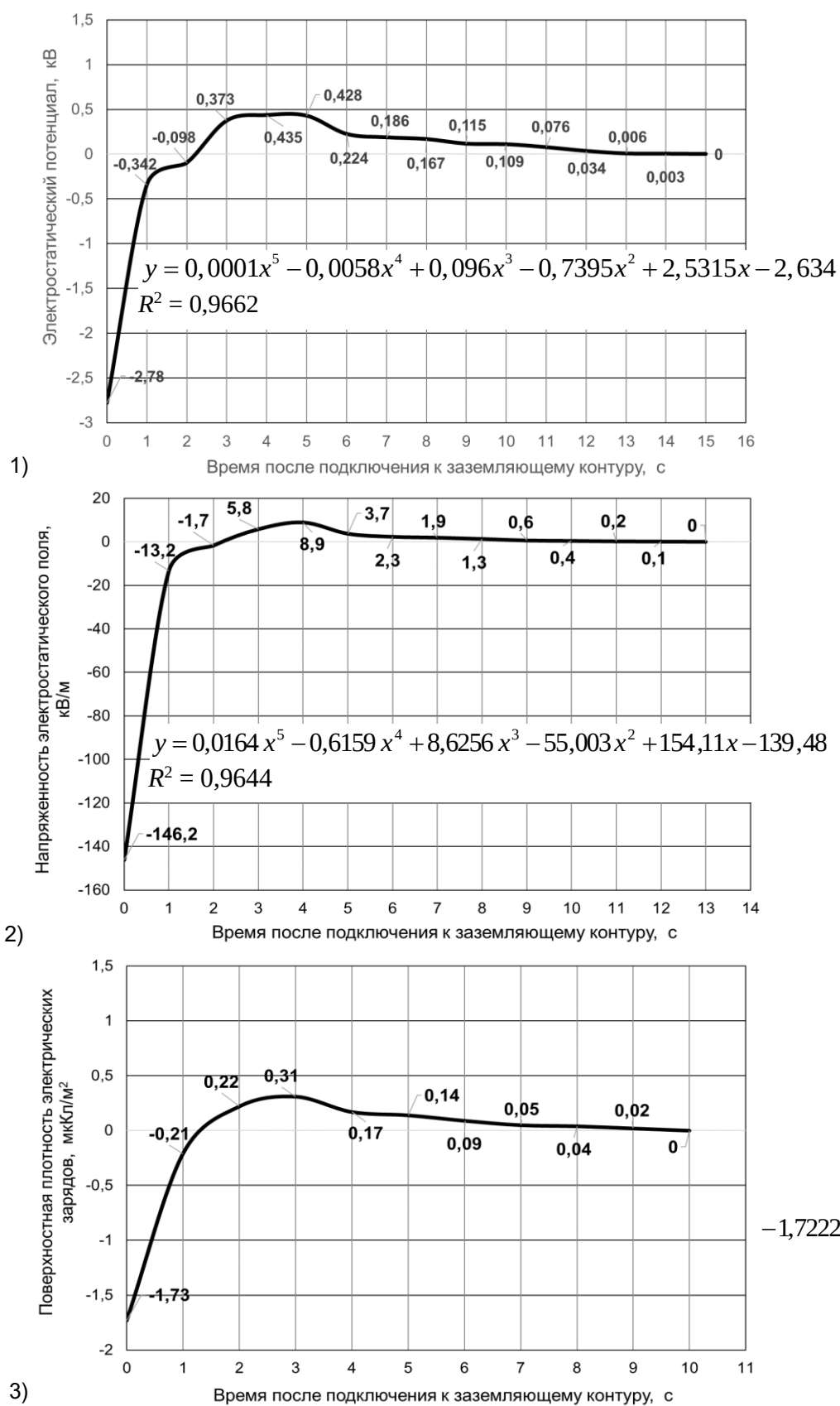


Рис. 2. Динамика электростатических параметров заряженной внутренней поверхности образца № 3 с токопроводящей нитью после заземления:
 1) электростатического потенциала, кВ; 2) напряженности электростатического поля, кВ/м;
 3) поверхностной плотности электрических зарядов, мКл/м²

Полученные результаты свидетельствуют о том, что электростатический потенциал относительно земли, энергия разряда которого способна воспламенять ГГ, ЛВЖ и ГЖ, исчезает за обозначенный выше временной промежуток стекания заряда (менее чем за одной секунду). Действительно, как было указано в [1], энергия W , мДж, накопленная заряженным объектом, определяется выражением

$$W = \frac{C \cdot V^2}{2}, \quad (1)$$

где C – электрическая емкость объекта, Φ , принятая как среднее значение электрической емкости тела человека равной 200 пФ;

V – величина разности потенциалов между заряженным объектом и землей, В.

Электростатический разряд может воспламенить горючую смесь только в том случае, если его энергия больше минимальной энергии воспламенения данной смеси. Условие безопасности может быть записано следующим выражением [5]:

$$W \leq \frac{W_{\text{мин}}}{K}, \quad (2)$$

где $W_{\text{мин}}$ – минимальная энергия воспламенения горючей смеси, образование которой возможно в данном технологическом процессе, мДж;

K – коэффициент безопасности, принятый равным 2,5.

Значения минимальной энергии воспламенения отдельно взятых ГГ, ЛВЖ и ГЖ приняты согласно [6] и представлены в табл. 2.

Таблица 2

Минимальная энергия воспламенения отдельно взятых горючих сред

Наименование горючей среды	Минимальная энергия воспламенения с учетом коэффициента безопасности K , мДж
Метиловый спирт (ЛВЖ)	0,056
Пропан (горючий газ) (ГГ)	0,100
Метан (горючий газ) (ГГ)	0,112
Уайт-спирит (ЛВЖ)	0,132
Бензин авиационный 91/115 (ЛВЖ), ацетон (ЛВЖ)	0,164
Бензин марки А-66 (ЛВЖ)	0,184

Сравнение минимальной энергии воспламенения отдельно взятых горючих сред (см. табл. 2) с энергией разряда при принятом нижнем значении электростатического потенциала в 0,36 кВ и равной, согласно [1], 0,01296 мДж показывает, что за время менее одной секунды после заземления металлизированной нити респиратора, заряд на ее поверхности достигает значений, неспособных привести к воспламенению, тем самым условия безопасности при работе во взрывопожароопасной среде выполняются.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. В результате исследований установлено, что при определенных условиях эксплуатации на поверхности СИЗОД возможно образование электростатических зарядов с энергией, способной привести к воспламенению в отдельных взрывопожароопасных средах.

Предложенный способ обеспечения электростатической безопасности СИЗОД, заключающийся во введении в конструкцию респиратора металлизированной нити с последующим ее заземлением, достаточно быстро (порядка одной секунды) позволяет организовать сток накопленного заряда до величин энергии, неспособной воспламенить большинство ГГ, ЛВЖ и ГЖ в условиях взрывопожароопасных технологических процессов промышленных предприятий.

Представленные результаты исследований показывают необходимость внесения дополнительных требований в программу испытаний и контроля СИЗОД, направленных на установление их электростатических свойств и выдачу рекомендаций о возможности / невозможности применения конкретного типа (марки) респиратора в условиях взрывопожароопасных сред.

Осуществление подбора и оценки респираторов с антистатическими свойствами для отдельных видов работ позволит научно обоснованно управлять опасностями взрыва и пожара на производстве и улучшать системы управления безопасностью труда на промышленных предприятиях.

Список литературы / References

1. Черный, К. А. Исследование электростатических свойств средств индивидуальной защиты органов дыхания, применяемых работниками во взрывопожароопасных помещениях / К. А. Черный, Д. В. Удавихин // Безопасность жизнедеятельности. – 2024. – № 7. – С. 3–9.

Chernyy, K. A., Udavikhin, D. V. *Issledovaniye elektrostaticheskikh svoystv sredstv individualnoy zashchity organov dykhaniya, primenyayemykh rabotnikami vo vzryvopozharoопасnykh pomeshcheniyakh* [Study of Electrostatic Properties of Personal Respiratory Protection Equipment, Used by Workers in Explosion and Fire Hazardous Areas]. *Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti*, 2024, no. 7, pp. 3-9. (In Russian).

2. World Fire Statistics. Center for Fire Statistics of STIF. 28 (2023): 144 p. Available at: https://ctif.org/sites/default/files/2023-06/CTIF_Report28-ESG.pdf (accessed: 08.02.2025). (In English)

3. Kostin, P. A., Zamostotskii, E. G., Rassokhina, I. M. Protective Properties of Knitted Fabrics from Combined Electroconductive Yarns. *Fibre Chemistry*. 54 (2022): 30–3. (In English)

4. Hu, S., Wang, D., Kremenakova, D., Militky, J. Characterization and Multifunction Application of Metalized Textile Materials. Militky, J., Venkataraman, M. (ed.). *Advanced Multifunctional Materials from Fibrous Structures. Advanced Structured Materials*. 201 (2023): 131–61. (In English)

5. Статическое электричество в химической промышленности (процессы электризации и предупреждение загораний) : монография / Попов Б. Г., Веревкин В. Н., Бондарь В. А., Горшков В. И. ; ред. Дроздов Н. Г. – Л. : Химия, 1971. – 207 с.

Popov, B. G., Verevkin, V. N., Bondar, V. A., Gorshkov, V. I. ; ed. Drozdov N. *Staticheskoe elektrichestvo v khimicheskoy promyshlennosti (Protessy elektrizacii i preduprezhdenie zagoraniy)* [Static electricity in the chemical industry (Electrification processes and fire prevention)]. Leningrad, Himiya, 1971, 208 p. (In Russian)

6. Корольченко, А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник в 2 т. / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. – М. : Пожнаука, 2004.

Korolchenko, A. Ya., Korolchenko, D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya : Spravochnik v 2 t.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and fire extinguishing means used: Handbook in 2 volumes]. M.: Pozhnauka Publ., 2004. (In Russian)

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

Дата поступления рукописи 25.02.2025

Дата опубликования 19.03.2025

Dmitry Vladimirovich Udavikhin, Postgraduate Student, Senior Lecturer¹;
Deputy Head²; e-mail: dmutry88@mail.ru

¹Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«Perm National Research Polytechnic University»;

²Joint Stock Company «Aviation Gearboxes and Transmissions – Perm Motors»
614025, Perm, Geroyev Hasana St., 105G. Phone: +7 (961) 759-90-20

Konstantin Anatolyevich Chernyi, Dr. of Tech. Sci., Associate Prof., Head of Department;
e-mail: chernyy_k@mail.ru

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«Perm National Research Polytechnic University»;

614990, Perm, Komsomolsky Prosp., 29. Phone: 8 (342) 219-81-73

METHOD FOR ENSURING ELECTROSTATIC SAFETY OF PERSONAL RESPIRATORY PROTECTIVE EQUIPMENT IN EXPLOSIVE AND FIRE HAZARDOUS ENVIRONMENTS

Purpose. Ensuring the electrostatic safety of personal respiratory protective equipment (respirators) in the explosive and fire-hazardous conditions on account of technological processes of industrial enterprises.

Methods. The electrostatic properties of standard respirator samples and a respirator samples into the design of which additionally introduced conductive (metallized) thread with its subsequent grounding have been experimentally investigated. The electric charge accumulation on the respirator inner surface was simulated by placing respirator samples in a highly ionized air environment.

Results. Using a non-contact measurement method the possibility of simulating of the charges accumulation simulating on the respirator inner surface as a result of contact with the scalp of an employee by placing the test respirator exemplars in a high ionized air environment has been confirmed experimentally. It has been proven that the negative charge accumulated in such a model air environment on the respirator samples reaches energy value capable of igniting flammable gases, flammable and combustible liquids. The method for ensuring the electrostatic safety of a respirator samples in the design of which a conductive (metalized) thread is additionally introduced and followed by its grounding have been studied. The assessment of the electrostatic parameters dynamics change and the charge drain time until safe values are reached makes it possible to assert the effectiveness of the proposed method.

Scientific novelty. For the first time it has been established and experimentally confirmed that the use of a conductive (metalized) thread in the structure of the inner layer of a respirator with its subsequent grounding makes it possible to ensure the safety conditions for the use of respirators in explosive and fire-hazardous environments.

Practical value. The obtained research results make it possible to develop recommendations for supplementing the testing and control program of respirators during their production with requirements aimed at establishing their electrostatic properties, and the proposed method for ensuring the electrostatic safety of personal respiratory protection equipment makes it possible to increase the safety of workers.

Keywords: *electrostatic discharge; respiratory equipment; respirator; explosion and fire hazard; charge drain time.*

For citation: Udavikhin D. V., Chernyi K. A. Method for ensuring Electrostatic safety of Personal respiratory protective equipment in Explosive and Fire hazardous Environments. *Scientific bulletin of the NII “Respirator”*, 2025, no. 1 (62), pp. 36-43. EDN TTJNHN

II. Безопасность труда

УДК [620.1.08:697.931.2]:622.867.32

Любовь Алексеевна Зборщик, ст. науч. сотр.; e-mail: lzborschik@yandex.ru;
Руслан Сергеевич Плетенецкий, ст. науч. сотр.; e-mail: zoloto-russland@yandex.ru;
Виктор Иванович Францев, вед. инж.; e-mail: oszd_niigd_3@mail.ru
Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-45

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИИ САМОСПАСАТЕЛЕЙ НА СТЕНДЕ, ИМИТИРУЮЩЕМ ДЫХАНИЕ ЧЕЛОВЕКА

Цель. Повышение достоверности результатов измерения относительной влажности воздуха в стенде-имитаторе дыхания.

Методы. Аналитические методы исследования способов определения относительной влажности в стенде-имитаторе дыхания.

Результаты. Разработанная методика позволяет определить относительную влажность воздуха в пульсирующем воздушном потоке в стенде-имитаторе дыхания.

Научная новизна. Предложена методика измерения относительной влажности воздуха для уменьшения погрешности измерений, обусловленных пульсирующим характером воздушного потока.

Практическая значимость. Методика предназначена для измерения относительной влажности воздуха в стенде-имитаторе дыхания при испытании средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Ключевые слова: относительная влажность; методика измерения; дыхательный аппарат; средства индивидуальной защиты органов дыхания; самоспасатель.

Для цитирования: Зборщик Л. А., Плетенецкий Р. С., Францев В. И. Методика измерения относительной влажности при испытании самоспасателей на стенде, имитирующем дыхание человека // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 1 (62). – С. 44–50. – EDN XEQBGV

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Определение относительной влажности вдыхаемого воздуха при испытании самоспасателей на стенде, имитирующем дыхание человека, – сложный вопрос из-за невозможности прямого измерения относительной влажности приборным методом [1]. Существуют косвенные методы, такие как измерение температуры по сухому и влажному термометру (психрометрический метод), измерение влагосодержания воздуха и дальнейшее сопоставление этих величин, измерение по «точке росы» и т. д.

Анализ последних исследований и публикаций. Гигроскопический гравиметрический метод химического анализа заключается в определении массы поглощенных паров воды сухой навеской пробы при определенной относительной влажности воздуха и температуре. Эта масса пропорциональна концентрации гетерогенной гигроскопичной примеси. В ряду преимуществ данного метода важно указать, что в качестве абсорбируемых паров может быть не только вода, но и органические растворители, а в качестве объекта анализа – как твердые, так и газообразные вещества. При простой экспериментальной технике метод обеспечивает анализ содержания основного компонента (99...99,999 масс. %)

и растворимых примесей (1...0,001 масс. %) [2]. Однако его применение в режиме онлайн в стенде, имитирующем дыхание человека, не представляется осуществимым.

Для измерения влажности используют следующие приборы: гигрометры точки росы, психрометры, электролизные гигрометры, гигрометры инфракрасного излучения, электрические гигрометры с проводящей пленкой, волосяные гигрометры, гигрометры с биморфным элементом и др. Они имеют непростую конструкцию, работают в ограниченном диапазоне температуры и обладают некоторой инерционностью, а их погрешность обычно достигает $\pm (2,5) \%$. Отмеченное выше указывает на необходимость поиска новых путей измерения относительной влажности воздуха. Метод измерения осажденных водяных паров при помощи солнечных фотометров (метод Батлера) может стать одним из альтернативных путей измерения влажностных показателей воздуха [3].

Определение влагосодержания воздуха возможно с помощью малогабаритных датчиков контроля параметров окружающей среды, разработанных на основе прецизионных групповых методов технологии микроэлектроники. Действие точных ($Sr \leq 2 \%$) и чувствительных ($10 - 12 \cdot 10^{-9} \text{ г/см}^2$) пьезосорбционных датчиков основано на явлении обратного пьезоэффекта. Чувствительный элемент – пьезокварцевый резонатор (ПКР) АТ-среза – реагирует изменением собственной частоты колебаний при варьировании массы адсорбированного на его поверхности газообразного вещества. При этом изменение массы адсорбата и частоты колебаний ПКР зависит от концентрации и состава адсорбируемых газовых сред, но не от их агрегатного состояния

$$\Delta F = \frac{F_0^2}{N\rho_N S} \Delta m,$$

где F_0 – резонансная частота ПКР, кГц;

N – постоянная ($N = 1770 \text{ кГц} \cdot \text{мм}$);

ρ – плотность пьезокварца ($\rho \approx 2,65 \text{ г/см}^3$);

S – площадь пьезоэлемента, см^2 ;

Δm – изменение массы сорбента или адсорбата [4].

Также существует метод определения относительной влажности воздуха по результату измерений осажденных водяных паров с помощью солнечного фотометра, нашедший своё применение для вычисления относительной влажности для различных зон исследуемого региона [5].

Влажность воздуха, заключенного в замкнутом объеме, при поддержании постоянной температуры возможно определять по изменению времени реверберации (процесса постепенного уменьшения интенсивности звука при его многократных отражениях). Результаты исследования изменения акустики показали, что коэффициент поглощения поверхностей помещения довольно стабилен во времени, а сезонные девиации времени реверберации на высоких частотах хорошо согласуются с изменением коэффициента звукопоглощения воздуха, зависящего от температуры и влажности. Таким образом, при неизменности акустических свойств поверхностей помещения измерение времени реверберации позволит определить коэффициент поглощения воздуха, зависимость которого от температуры, влажности и давления хорошо известна.

Простейший способ измерения скорости звука состоит в определении времени распространения звуковой волны от излучателя к приемнику, расстояние между которыми задано. Можно существенно увеличить точность измерения скорости звука при помощи автогенераторного метода, в котором приемник и излучатель образуют систему с обратной связью [6].

Разработан макет высокоточного анализатора относительной влажности воздуха, принцип действия которого основан на определении точки росы методом пьезокварцевого микровзвешивания. Чувствительным элементом в таких устройствах является пьезоэлектрический кварцевый резонатор, который характеризуют низкий температурный коэффициент, высокая чувствительность и экономичность. Принцип действия пьезоэлектрического кварцевого резонатора заключается в преобразовании аналитического сигнала, возникающего в результате взаимодействия исследуемой пробы с модификатором электродов резонатора, используемым для повышения чувствительности и селективности микровзвешивания газов, в физический сигнал – частоту колебаний F , Гц [7].

Цель исследования – повышение достоверности результатов измерения относительной влажности воздуха в стенде-имитаторе дыхания.

Результаты исследований. Наиболее распространенный метод определения влажности воздуха (газовой среды) – психрометрический. Однако он применим только для стационарных потоков воздуха. В человеческом организме (и в стенде-имитаторе дыхания соответственно) воздушный поток – пульсирующий. Применение в таком потоке психрометрического метода определения влажности дает погрешность в сторону увеличения показаний до 20 % измеряемой величины, что подтверждается расчетом.

Скорость потока в момент перехода фазы вдоха в фазу выдоха V_{min} равна 0 м/с.

Скорость потока в середине фазы выдоха (или вдоха) V_{max} максимальна и определяется по формуле

$$V_{max} = \frac{W\pi}{60 \cdot 1000 \cdot S_{сеч}}, \text{ м/с,}$$

где $S_{сеч}$ – сечение трубопровода стенда на линии вдоха, мм;

W – легочная вентиляция в номинальном режиме, $\text{дм}^3/\text{мин}$, $W = 35 \text{ дм}^3/\text{мин}$;

60 – коэффициент пересчета мин в с;

1000 – коэффициент перерасчета м^3 в дм^3 .

$$S_{сеч} = \frac{\pi d^2}{4} \text{ м}^2,$$

где d – диаметр воздуховода, $d = 3 \text{ см} = 0,03 \text{ м}$,

$$S_{сеч} = \frac{\pi \cdot 0,03^2}{4} = 0,0007 \text{ м}^2;$$

$$V_{max} = \frac{35 \cdot \pi}{60 \cdot 1000 \cdot 0,0007} = 2,61 \text{ м/с.}$$

То есть погрешность измерения относительной влажности (разности температур) методом сухого и мокрого термометров в пульсирующем потоке колеблется от 1,8 (при $V = 2,61$ м/с) до 18 % (при $V = 0$ м/с) [2]. А с учетом, что скорость воздушного потока V от 0 до 0,2 м/с составляет около 15 % цикла, погрешность будет равна $\sim 15...20$ %. Таким образом, не представляется целесообразным использовать психрометрический метод для измерения влажности вдыхаемого воздуха.

В данном случае более приемлем метод расчета относительной влажности на основании измерения влагосодержания воздуха и температуры. Важным моментом при этом является выбор места установки датчиков влажности. Поскольку датчик измерения влажности имеет довольно значительную инерцию, его технические характеристики не позволяют в случае нахождения в пульсирующем потоке точно отслеживать динамику изменения влажности, и, следовательно, получать достоверные данные для их последующей обработки.

В связи с этим, ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС РФ» разработан метод измерения влажности путем отбора пробы вдыхаемого воздуха в сосуд, емкостью около 80 см³, усреднения его состава и последующего измерения в этом сосуде относительной влажности и температуры при помощи соответствующих приборов. Отбор пробы необходимо производить со скоростью, пропорциональной скорости вдыхаемого воздуха. Поскольку указанные параметры (в усредненном варианте) в процессе эксперимента изменяются медленно (около 0,3... 0,5 % в мин), быстрое действие датчика влажности является вполне приемлемым.

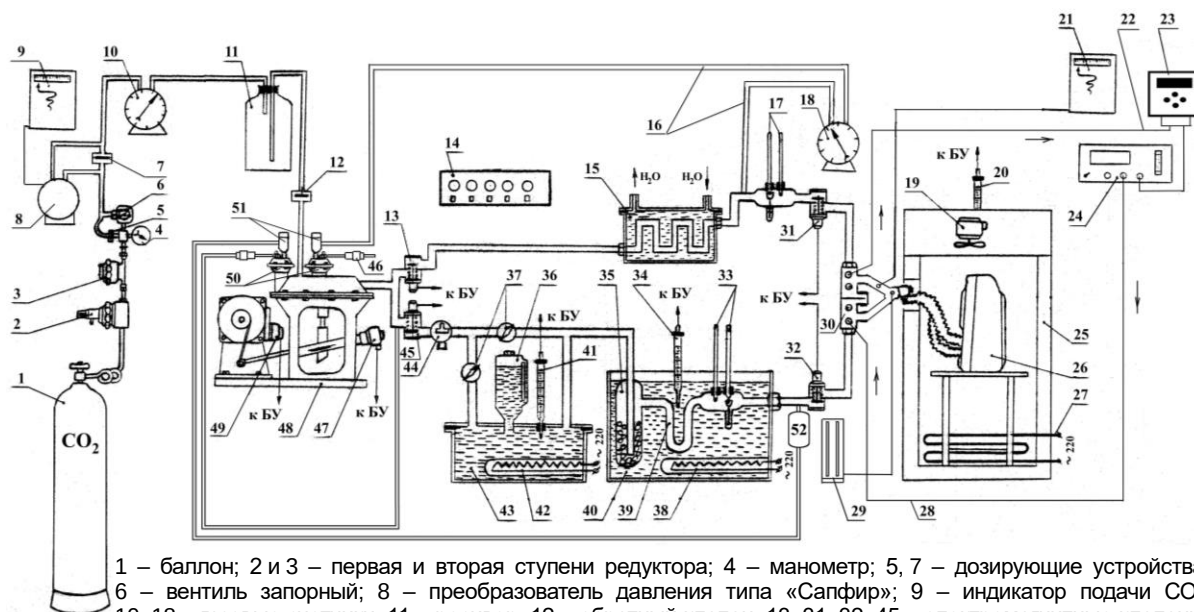
При реализации этого метода необходимо полностью исключить конденсацию влаги на линии подачи воздуха в измерительный сосуд и в самом сосуде. Это может быть обеспечено установкой соответствующих нагревателей в данных местах. Температура стенок сосуда и трубок должна быть не ниже 37 °С. Это особенно важно в начальный период испытаний, когда линия вдоха на стенде холодная и стенки имеют температуру такую же, как и воздух в лаборатории (около 23 °С).

Точка отбора проб воздуха на стенде-имитаторе дыхания должна располагаться перед клапаном вдоха. Измерительный сосуд должен быть установлен как можно ближе к линии вдоха. Возврат анализируемого воздуха – в любом месте между клапаном вдоха и искусственными легкими. Линии вдоха до клапана вдоха и измерительного сосуда и сам измерительный сосуд должны быть теплоизолированы. Схема стенда-имитатора дыхания с установленным измерительным сосудом показана на рисунке.

В ходе эксперимента, когда линия вдоха стенда будет прогрета, а температура на входе из самоспасателя повысится до 40...42 °С, нагрев системы анализа влажности можно отключить.

Также в измерительном сосуде должен быть расположен датчик температуры газовой среды для фиксации ее влагосодержания наряду с изменением относительной влажности. При расчете относительной влажности на входе и регистрации ее в протоколе испытаний необходимо полученную в измерительном сосуде величину влажности привести к температуре воздуха на входе в самоспасатель через его влагосодержание по таблицам свойств влажного воздуха.

В качестве побудителя воздушного потока через измерительный сосуд необходимо использовать «малые» легкие стенда для пропорционального отбора проб с объемом 79 см³ (1575 : 20) за каждый вдох.



1 – баллон; 2 и 3 – первая и вторая ступени редуктора; 4 – манометр; 5, 7 – дозирующие устройства; 6 – вентиль запорный; 8 – преобразователь давления типа «Сапфир»; 9 – индикатор подачи CO₂; 10, 18 – газовые счетчики; 11 – ресивер; 12 – обратный клапан; 13, 31, 32, 45 – электромагнитные клапаны; 14 – блок управления; 15 – холодильник; 16 – линия имитации кислородопотребления; 17, 33 – психрометры; 19 – вентилятор; 20, 34, 41 – электроконтактные термометры; 21 – измеритель температуры; 22 – линия отбора пробы на газоанализ; 23 – газоанализатор CO₂; 24 – газоанализатор кислорода; 25 – теплоизолирующий корпус; 26 – испытываемый аппарат; 27, 38, 42 – нагреватели; 28 – линия возврата пробы, отобранной на газоанализ; 29 – измеритель сопротивления (манометр); 30 – соединительная коробка; 35 – отбойник капельной влаги; 36 – дозатор воды; 37 – двухходовые краны; 39 – осушающая петля; 40 – термостат; 43 – увлажнитель; 44 – трёхходовой кран; 46 – клапанная коробка линии имитации кислородопотребления; 47 – двигатель регулировки объема дыхания; 48 – искусственные лёгкие; 49 – двигатель регулировки частоты дыханий; 50 – малые лёгкие; 51 – электромагнитные клапаны малых легких; 52 – измерительный сосуд; БУ – блок управления.

Рис. Стенд-имитатор дыхания с измерительным сосудом

При проектировании измерительного сосуда необходимо обеспечить возможность интенсивного перемешивания в нем воздуха, т. е. усреднение пробы достигается за счет соответствующего расположения в измерительном сосуде патрубков входа и выхода потока измеряемого воздуха.

В качестве датчика относительной влажности можно использовать термометр ТК-5-05 с зондом влажности ЗВЛ 5-150, имеющий датчик влагосодержания емкостного типа, в качестве датчика температуры – любой малоинерционный датчик, например, такой, как указан в EN 13794:2002 для измерения температуры вдыхаемого воздуха (термоэлемент NiCr-Ni с диаметром голого провода 0,2 мм).

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Обоснованы требования, предъявляемые к методике определения относительной влажности в стенде-имитаторе дыхания, что позволяет минимизировать погрешность, вызванную пульсирующим характером воздушного потока.

Список литературы / References

1. Анализ технических характеристик учебных самоспасателей и методик обучения с их применением / В. М. Медгаус [и др.] // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2024. – № 1 (61). – С. 118–128.

Medgaus, V. M., Pletenetskiy, R. S., Zborshchik, L. A., Frantsev, V. I. *Analiz tekhnicheskikh kharakteristik uchebnykh samospasateley i metodik obucheniya s ikh primeneniym* [Analysis of technical characteristics of training self-rescuers and teaching techniques incorporated them]. *Scientific bulletin of the NII "Respirator"*, 2024, no. 1 (61), pp. 118-128. (In Russian)

2. Терещенко, А. Г. Гигроскопический гравиметрический количественный химический анализ. Обзор / А. Г. Терещенко // Аналитика и контроль. – 2016. – Т. 20, № 2. – С. 110–120. – DOI: 10.15826/analitika.2016.20.2.001. – EDN WBEBQP

Tereshhenko, A. G. *Gigroskopicheskiy gravimetricheskij kolichestvennyy himichesky analiz. Obzor* [Hygroscopic Gravimetric Quantitative Chemical Analysis. Review]. *Analytics and Control*. 2016, no. 20 (2), pp. 110-120. – DOI 10.15826/analitika.2016.20.2.001 – EDN WBEBQP (In Russian)

3. Асадов, Х. Г. Полуэмпирический метод определения относительной влажности воздуха по результату солнечно-фотометрических измерений осажденных водяных паров / Х. Г. Асадов, С. Н. Г. Абдуллаева, А. Д. Г. Алиева // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия «Науки о Земле». – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 152–156. – DOI : 10.18500/1819-7663-2020-20-3-152-156. – EDN OUGMSU

Asadov, H. H., Abdullaeva, S. N. G., Alieva, A. D. G. *Poluempiricheskiy metod opredeleniya otnositelnoy vlazhnosti vozdukha po rezultatu solnechno-fotometricheskikh izmereniy osazhdennykh vodyanykh parov* [Semi-empirical method for determining relative air humidity based on result of Solar-photometric measurements of precipitated water vapors]. *Izvestiya Saratovskogo Universiteta. Novaya seriya. Seriya «Nauki o Zemle»*. 2020, no. 20 (3), pp. 152-156. – DOI 10.18500/1819-7663-2020-20-3-152-156. – EDN OUGMSU (In Russian)

4. Датчики относительной влажности воздуха на основе пьезосенсора / Ж. Ю. Кочетова, Т. А. Кучменко, О. В. Базарский, Е. В. Дроздова, Д. В. Коновалов // Национальная ассоциация ученых. – 2015. – № 8-3. – С. 99–102. – EDN YHOBRB

Kochetova, J. Y., Kuchmenko, T. A., Bazarsky, O. V., Drozdova, E. V., Konovalov, D. V. *Datchiki otnositelnoy vlazhnosti vozdukha na osnove pezosensora* [Relative Humidity Sensors based on Piezoelectric sensor]. *National Association of Scientists*. 2015, no. 8-3, pp. 99-102. – EDN YHOBRB (In Russian)

5. Метод определения относительной влажности воздуха на основе фотометрических измерений осажденных водяных паров / Х. Г. Асадов, С. Н. Абдуллаева, А. Д. Алиева, Л. В. Шульга, П. Л. Подколзин // Актуальные проблемы экологии и охраны труда: сборник статей XII Международной научно-практической конференции (Курск, 20 мая 2020 г.). – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 13–19. – EDN ZJLGQV

Asadov, H. H., Abdullaeva, S. N., Alieva, A. D., Shulga, L. V., Podkolzin, P. L. *Metod opredeleniya otnositelnoy vlazhnosti vozdukha na osnove fotometricheskikh izmereniy osazhdennykh vodyanykh parov* [Method for determining relative air humidity based on photometric measurements of precipitated water vapor]. *Aktualnye problemy ekologii i okhrany truda: sbornik statey XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Kursk, 20 maya 2020 g.)*. Kursk: South-West State University, 2020, pp. 13-19. – EDN ZJLGQV (In Russian)

6. Канев, Н. Г. Акустический метод измерения температуры и влажности воздуха в помещениях / Н. Г. Канев // Акустический журнал. – 2014. – Т. 60, № 3. – С. 332–335. – DOI: 10.7868/S0320791914030083. – EDN RZVMVN

Kanev, N. G. *Akusticheskiy metod izmereniya temperatury i vlazhnosti vozdukha v pomeshheniyakh* [Acoustic method for measuring indoor air temperature and humidity]. *Akusticheskij Zhurnal*. 2014, no. 60 (3), pp. 332-335. – DOI : 10.7868/S0320791914030083. – EDN RZVMVN (In Russian)

7. Определение влажности воздуха в широком диапазоне температур и концентраций / Ж. Ю. Кочетова, О. В. Базарский, Т. А. Кучменко, А. А. Мишина, К. П. Щербак // Аналитика и контроль. – 2012. – Т. 16, № 1. – С. 53–60. – EDN: OUHEWH.

Kochetova, Zh. Yu., Bazarskiy, O. V., Kuchmenko, T. A., Mishina, A. A., Shherbak, K. P. *Opredelenie vlazhnosti vozdukha v shirokom diapazone temperature i kontsentratsiy* [Air humidity determination within wide range of temperatures and concentration]. *Analytics and Control*. 2012, no. 16 (1), pp. 53-60. – EDN OUHEWH (In Russian)

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

Дата поступления рукописи 07.10.2024

Дата опубликования 19.03.2025

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

Ruslan Sergeyevich Pletenetskiy, Senior Researcher; e-mail: zoloto-russland@yandex.ru;

Viktor Ivanovich Frantsev, Lead Engineer; e-mail: oszd_niigd_3@mail.ru

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

283048, Donetsk, Artyoma st., 157. Phone: +7 (856) 332-78-45

METHODOLOGY FOR MEASURING RELATIVE HUMIDITY WHEN TESTING SELF-RESCUERS ON STAND SIMULATING HUMAN BREATHING

Objective. Improve reliability of relative air humidity measuring results in Breathing simulator stand.

Methods. Analytical methods for studying relative humidity determining methods in the Breathing simulator stand.

Results. The developed technique allows determining the relative air humidity in pulsating air flow in Breathing simulator stand.

Scientific novelty. Method for relative air humidity measuring is proposed to reduce measurement errors caused by air flow pulsating nature.

Practical significance. The method is designed to measure the relative air humidity in the Breathing simulator stand when testing personal Respiratory protective equipment.

Key words: *Relative humidity; Methodology for measuring; Breathing apparatus; Personal respiratory protective equipment; Self-rescuer.*

For citation: Zborshchik L. A., Pletenetskiy R. S., Frantsev V. I. The method of measuring relative humidity when testing self-rescuers on Stand simulating human breathing. *Scientific bulletin of the NII “Respirator”*, 2025, no. 1 (62), pp. 44-50. EDN XEQBGV

УДК 622.232.72

Иван Васильевич Косарев, директор; e-mail: donuglemash@mail.ru

Артур Владимирович Мезников, зам. директора по науч. работе; e-mail: avmeznikov@mail.ru

Василий Васильевич Косарев, канд. техн. наук, ученый секретарь; e-mail: vodoleyvv3@mail.ru

Георгий Владимирович Андреев, заведующий отделом; e-mail: andreew49@yandex.ru

Евгений Михайлович Чайков, главный конструктор проекта; e-mail: chaykov_evgen@mail.ru

*Государственное бюджетное учреждение «Донецкий научно-исследовательский,
проектно-конструкторский и экспериментальный институт
комплексной механизации шахт»*

283048, Донецк, ул. Университетская, 83 А. Тел.: +7 (949) 331-29-27

ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЙ ОЧИСТНОЙ КОМБАЙН КДК 1000 ДЛЯ ПРОДУКТИВНОЙ И ТЕХНОГЕННО БЕЗОПАСНОЙ ОТРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ МОЩНОСТЬЮ 2,5–5,5 М

Цель. Исследование конструкторских решений, обеспечивающих повышение уровня охраны труда, в т.ч. нормализацию пылегазового и теплового режимов, для высокопродуктивной и техногенно безопасной отработки угольных пластов применительно к условиям шахт Кузбасса лучших зарубежных очистных комбайнов и вновь создаваемого импортозамещающего комбайна КДК 1000.

Методы. Аналитический и статистический методы оценки эффективности исследуемых решений.

Результаты. Создание автоматизированных гибридных систем высоконапорного пылеподавления и пылевзрывозащиты в сочетании с разветвленной низконапорной системой охлаждения и пылеподавления комбайна обеспечивают максимальный эффект для нормализации пылегазового и теплового режимов работы высоконагруженных лав, в т.ч. с особо сложными условиями эксплуатации.

Научная новизна. Разработка принципиально новых конструкторских решений, узлов и систем пятого поколения очистных комбайнов, сравнительный анализ их эффективности в сопоставлении с лучшими зарубежными образцами ведущих западных фирм, последующее обязательное построение цифровых двойников оригинальных узлов и машин в целом с имитационным моделированием режимов высокопродуктивной эксплуатации этих комбайнов с первоочередным обеспечением повышения уровня охраны труда в очистных забоях и, прежде всего, их техногенной безопасности, позволит создать новую научно-техническую базу отечественного угольного комбайностроения.

Практическая значимость. Результаты исследований конструкторских решений для нормализации пылегазового и температурного режимов будут использованы в дальнейших разработках новых очистных комбайнов как импортозамещающих, так и взамен устаревших отечественных с существенным ростом уровня охраны труда и промсанитарии в очистных забоях.

Ключевые слова: блок резания; инек; пневмогидроороситель; фрикционное искрение; высоконапорное орошение; водовоздушный аэрозоль; система охлаждения.

Для цитирования: Косарев И. В., Мезников А. В., Косарев В. В., Андреев Г. В., Чайков Е. М. Импортозамещающий очистной комбайн КДК 1000 для продуктивной и техногенно безопасной отработки угольных пластов мощностью 2,5–5,5 м // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 1 (62). – С. 51–63. – EDN UFBKWM

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Более 80 % подземной добычи угля в Российской Федерации обеспечивается очистными комбайнами машиностроительных фирм США и Европы, парк которых в последнее время не обновляется и не поддерживается поставкой запасных частей. В настоящее время на территории РФ отсутствует собственное производство очистных комбайнов.

Следует особо отметить, что уникально высокие показатели производительности, надежности и ресурса поставляемых комбайнов достигаются инновационными решениями, постоянно внедряемыми в их конструкции и технологии производства. При этом, по заявлению лидера мирового комбайностроения – фирмы Eickhoff (Германия), первоочередным требованием является соответствие комбайна современным мировым стандартам безопасности, прежде всего – в обеспечении нормальных пылегазовых и тепловых режимов работы независимо от горно-геологических и горнотехнических условий отработки лав [1].

По данным Минтопэнерго России до 2030 г. на шахты РФ необходима поставка 60 новых очистных комбайнов для отработки пластов мощностью 2,5–5,5 м, не уступающих по производительности и техногенной безопасности западным аналогам.

Исследование конструкторских решений, применяемых в комбайнах ведущих зарубежных фирм, получивших наилучшие практические результаты при эффективной эксплуатации в сложных условиях шахт Кузбасса, является весьма актуальной научно-технической задачей. Аналитическая оценка этих решений, совершенствование лучших из них и синтез усовершенствованных и принципиально новых решений в относительно короткие сроки позволят обеспечить создание современного импортозамещающего очистного комбайна, не уступающего по основным параметрам, в т. ч. техногенной безопасности, лучшим зарубежным аналогам.

Наличие зарубежной высокопроизводительной и ресурсной добычной техники на шахтах РФ обеспечило возможность отработки выемочных полей многокилометровой протяжности. При этом резко возросла угроза эндогенных пожаров, как источников взрыва метана [2]. Нагрузка на лавы 10–50 тыс. т в сутки многократно повышает поступление угольной пыли в лавы и в обширную сеть примыкающих горных выработок, а увеличенные объемы подаваемого в шахты воздуха для дегазации лав способны разносить эту пыль с большой скоростью и на большие расстояния, создавая условия для возникновения крупномасштабных аварий и расширения границ главного источника профзаболеваний рабочих. Таким образом, при создании высокопродуктивной импортозамещающей добычной техники первоочередной задачей наряду с ростом эксплуатационных параметров должны быть решения по опережающему росту техногенной безопасности, охраны труда рабочих и улучшении санитарных условий подземного производства.

Цель работы – исследование эффективных конструкторских решений для нормализации пылегазового и теплового режимов при продуктивной и безопасной отработке угольных пологонаклонных пластов мощностью 2,5–5,5 м в условиях шахт Кузбасса лучшими зарубежными очистными комбайнами, поиск более совершенных и принципиально новых решений, возможных к реализации в создаваемом импортозамещающем очистном комбайне КДК 1000.

Результаты исследования. Очистные комбайны, поставляемые на шахты РФ фирмами Eickhoff (Германия), JOY (США), Famur (Польша), T-Machinery (Чехия), имеют возможность отработки протяженных лав длиной до 400 м с высокой производительностью 35–40 т/мин за счет суммарной энерговооруженности режущих блоков более 1000 кВт с высоконапорными системами пылеподавления и пылевзрывозащиты, энергообеспечения комбайнов напряжением 3300 В, частотно-регулируемого автоматизированного привода системы подачи с тяговым усилием

600–1000 кН. Эти комбайны являются сложными мехатронными системами, состоящими из органически связанных механических, электрических, гидравлических, микроэлектронных и компьютерных компонентов [3]. Донецкая Народная Республика располагает значительным научно-техническим и промышленным потенциалом с более чем 20-летним опытом по разработке, производству и эксплуатации очистных комбайнов мехатронного класса. С 2003 по 2013 гг. было выпущено 13 таких комбайнов, предназначенных для отработки пластов мощностью 1,35–3,2 м (комбайн КДК 500) и 2,2–4,3 м (комбайн КДК 700). Они успешно эксплуатировались на шахтах Донбасса с нагрузками от 2 до 10 тыс. т в сутки со средним ресурсом до капитального ремонта от 2 до 5 млн т [4, 5].

В соответствии с планом мероприятий по импортозамещению в отрасли тяжелого машиностроения Российской Федерации институт «ДОНУГЛЕМАШ» в 2024 г. разработал ТЗ на очистной комбайн мехатронного класса КДК 1000 для отработки пологонаклонных пластов мощностью 2,5–5,5 м и в настоящее время совместно с институтами «НИИВЭ» и «АВТОМАТГОРМАШ» ведет разработку конструкторской документации на опытный образец комбайна. В табл. 1 представлены основные параметры комбайна КДК 1000.

Таблица 1

Основные параметры комбайна КДК 1000

Наименование параметра, ед. измерения	Значение
Применяемость по вынимаемой мощности пласта, м	2,5–5,5
Производительность, т/мин	30–40
Суммарная мощность электроприводов, кВт, в т.ч.:	1 415
– исполнительных органов	2 × 550
– механизма подачи	2 × 100
– гидросистемы	30
– системы смазки	2 × 7,5
– дробилки	70
Номинальное напряжение, В	1 140, 3 300
Ширина захвата, мм	630; 800; 1 000
Диаметр исполнительного органа, мм	1 800–2 800
Максимальная скорость подачи, м/мин	20
Максимальное тяговое усилие подачи, кН	1 000 (2 × 500)
Суммарная подача воды на комбайн, л/мин, не менее	640
Давление воды на пневмогидрооросителях шнека, МПа	10
Основные размеры, мм, не более:	
– длина по осям шнеков	14 000
– высота корпуса в зоне крепи	1 650; 1 850
Масса комбайна, кг, не более	85 000

Комбайн (рис. 1) выполнен в виде блочно-модульной конструкции с использованием многодвигательного привода. Каждый блок приводится в движение отдельным электродвигателем и помещается либо внутри, либо крепится

снаружи к жесткой несущей раме комбайна, устанавливаемой посредством опорно-направляющего механизма на рештках скребкового конвейера. Электродвигатели привода режущей части расположены в поворотных редукторах блоков резания поперечно оси машины. Перемещение комбайна по лаве обеспечивается за счет перекачивания приводных звезд двух блоков подачи по зубчатой рейке, установленной вдоль лавы по ставу скребкового конвейера.



Рис. 1. Общий вид очистного комбайна КДК 1000

При эксплуатации высокопроизводительных очистных комбайнов в мощных пластах одной из наиболее трудно решаемых задач является борьба с пылью, что естественно, поскольку в постоянном рабочем режиме из горного массива отделяется, разрушается, раздробляется и грузится на конвейер каждую минуту от 30 до 60 т угля.

Кроме того, существенное возрастание пылеобразования на шахтах РФ объясняется [2]:

- снижением естественной влажности угольных пластов и горных пород с увеличением глубины добычи угля, которая в Кузбассе превысила 700 м;
- повышением с глубиной горного давления, под воздействием которого угольные пласты и вмещающие породы склонны к большему пылеобразованию при их разрушении комбайном;
- усложнением условий разработки по мере углубления и удаления от ствола, чреватых нарушением технологических режимов горных работ, при которых значительная часть горнорабочих может находиться под воздействием опасных и вредных производственных факторов, прежде всего – пылегазового и теплового, приводящих к профессиональным заболеваниям.

Для оценки параметров энерговооруженности, а также систем пылеподавления, пылевзрывозащиты и охлаждения очистных комбайнов, применяемых на шахтах РФ, был проведен сравнительный анализ их показателей, результаты которого представлены в табл. 2.

Для объективной оценки эффективности систем пылеподавления и пылевзрывозащиты впервые введен показатель удельного расхода воды, приведенный к отработанной площади лавы за единицу времени, q_s , который определяется по формуле:

$$q_s = \frac{V_{\text{в.пр.}}}{Q_{k \max}} \times V_{n \max} \times H_{3 \max},$$

где $V_{\text{в.пр.}}$ – приведенный объем воды, подаваемой на комбайн, л/мин;

$Q_{k \max}$ – максимальная производительность комбайна, т/мин;

$V_{n \max}$ – максимальная скорость подачи комбайна, м/мин;

$H_{3 \max}$ – максимальный захват шнека комбайна, м.

Таблица 2

Параметры энерговооруженности и систем пылеподавления, пылевзрывозащиты и охлаждения очистных комбайнов, работающих на шахтах РФ

Параметр, ед. измерения		Обозначение комбайна, изготовитель				
		SL500 Eickhoff (Германия)	7LS6C JOY (США)	KGF-1250F Famur (Польша)	КДК500 ЗАО «Горловский машиностроитель» (Россия)	КДК 1000 ООО «ДМЗ» (Россия)
Энерговооруженность комбайна, кВт		1 320,0	1 790,0	1 160,0	697,5	1 415,0
Энерговооруженность блоков резания, кВт		1 000	1 500	1 000	600	1 100
Производительность, т/мин		42	37	40	21	40
Вода на входе в комбайн	Расход, л/мин	380	380	330	210	640
	Давление, МПа	10	6	2,5	2	10
Внутреннее орошение на шнеках	Расход, л/мин	2 × 100	2 × 150	2 × 125	2 × 75	2 × 180
	Давление, МПа	10	6	2,5	–	10
Внешнее орошение на шнеках	Расход, л/мин	2 × 40	–	–	–	2 × 60
	Давление, МПа	10	–	–	–	10
Охлаждение и низконапорное орошение	Расход, л/мин	2 × 50	2 × 40	2 × 40	2 × 30	2 × 80
	Давление, МПа	3	3	2,5	2	3
Расход воды, л/т	Удельный	9	10	8	10	16
	Норматив в РФ	15–20	30–40	30–40	30–40	15–20

Приведенный объем подаваемой на комбайн воды с учетом объема высоконапорной воды, подаваемой в зону резания в удвоенном размере (согласно ГОСТ Р 57071-2016 п. 5.1.1.15), определяется по формуле:

$$V_{\text{в.пр.}} = 2 V_{\text{в.н.}} + V_{\text{н.н.}},$$

где $V_{\text{в.н.}}$ – объем высоконапорной воды, подаваемой в зону резания, л/мин;

$V_{\text{н.н.}}$ – объем низконапорной воды в системе пылеподавления и охлаждения, л/мин.

На графике (рис. 2) отражены комплексные количественные оценки эффективности систем пылеподавления и пылевзрывозащиты применяемых в РФ отечественных и зарубежных очистных комбайнов, а также – устаревшего снятого с производства комбайна КШЗМ и перспективного комбайна КДК 1000.

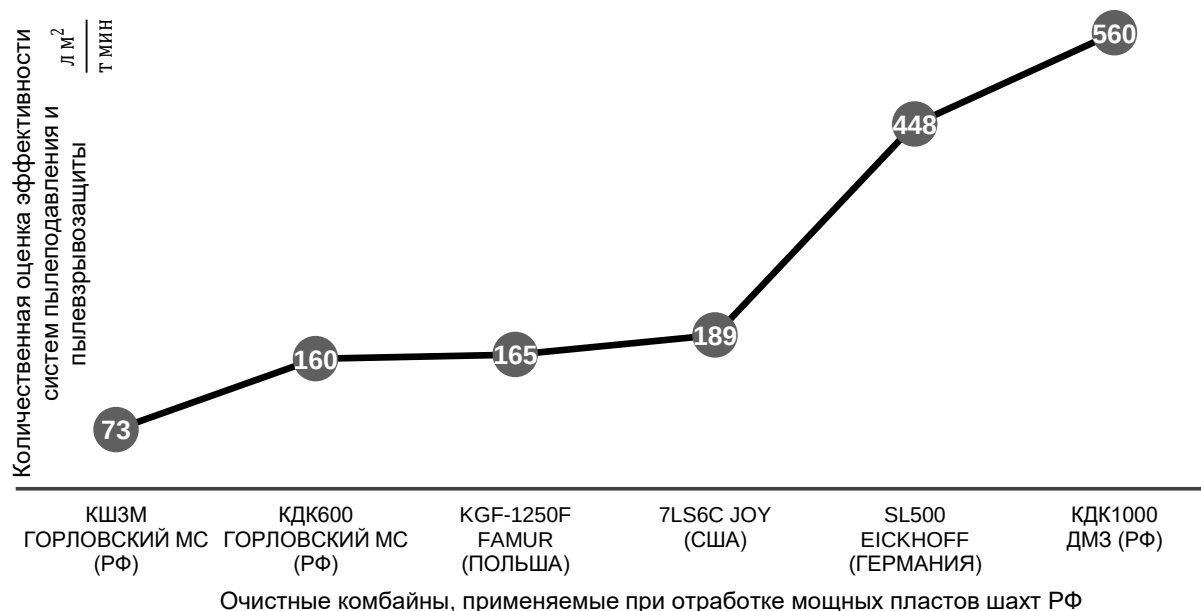


Рис. 2. Комплексная оценка эффективности систем пылеподавления и пылевзрывозащиты очистных комбайнов, применяемых в шахтах РФ

При производительности комбайна КДК 1000 30–40 т/мин в соответствии с нормативным удельным расходом воды 15–20 л/т (ГОСТ Р 57071-2016 п. 5.1.1.15) необходима подача воды на комбайн с минимальным расходом не менее 600 л/мин и тонкостью фильтрации не более 100 мкм при давлении 8–10 МПа, т. е. с переходом на принципиально новую для отечественного комбайностроения высоконапорную систему орошения.

Институт ДОНУГЛЕМАШ начал работы в области высоконапорного орошения более 30 лет назад. Совместно с институтом МакНИИ выполнены научно-исследовательские работы «Провести анализ состояния и определения возможности создания эффективной системы пылеподавления на горных машинах на базе высоконапорного орошения», «Создать современную систему орошения для очистных комбайнов с целью повышения пылеподавления и эффективной борьбы с воспламенением метана фрикционными искрами» (Архив «Донгипроуглемаш», Отчеты А/0699 и А/6556).

В результате выполнения этих и ряда других работ, в т. ч. выполненных на стендах институтов, получены следующие результаты:

- разработаны технические решения и комплекты конструкторской документации на исполнительные органы с высоконапорным орошением, высоконапорные насосы с большой производительностью, высоконапорные фильтры, редукционные клапаны, различные оросители, в т. ч. пневмогидрооросители, необходимые для освоения в промышленном производстве этого направления горной техники;

- проведены стендовые и шахтные испытания насосов, фильтров, шнекового исполнительного органа с пневмогидрооросителями.

Результаты этих исследований заложены в основу создания системы пылеподавления и пылевзрывозащиты комбайна КДК 1000.

Так, впервые в отечественном комбайностроении ведется создание установки насосной высоконапорной УНВ 2×320 с подачей воды 640 л/мин и номинальным давлением 10–15 МПа. Для приготовления воды высокой степени очистки разрабатывается фильтр штрековый с обратной самопромывкой в автоматическом режиме ФШП 2×500 с номинальным расходом 1000 (2×500) л/мин и тонкостью фильтрации 50 мкм повышенной грязеемкости.

Более 60 % мощных пластов Кузбасса насыщены крепкими породными прослоями и твердыми включениями, что требует оснащения блоков резания комбайна КДК 1000 комбинированной системой внутреннего (под каждый резец) и внешнего (охватывающего шнек) высоконапорного пылеподавления и пылевзрывозащиты [6]. Эта высоконапорная система с давлением воды 10 МПа применяется впервые на отечественных комбайнах. Для ее реализации в каждом резцедержателе шнека предусмотрены пневмогидрооросители с выходным отверстием диаметром 0,7 мм для подачи струи водовоздушного аэрозоля с расходом 2,5 л/мин под давлением 10 МПа на след резца на расстоянии не более 20 мм от его режущей твердосплавной вставки (рис. 3).

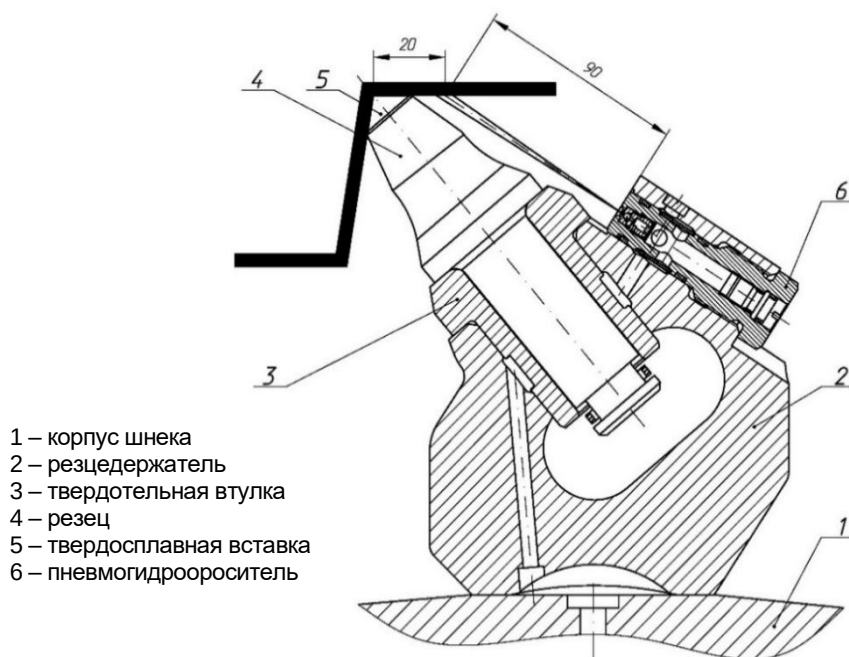


Рис. 3. Резцедержатель комбайна КДК 1000 с пневмогидрооросителем

Струя аэрозоля обеспечивает подавление пыли непосредственно в зоне ее образования до перехода во взвешенное состояние [7]. Кроме того, подача воды на след резания наиболее эффективно подавляет фрикционное искрение, возникающее при контакте твердосплавных вставок резцов с кремнийсодержащими твердыми включениями, либо твердыми и абразивными боковыми породами, что является основной причиной взрывов пыли и рудничного газа при разрушении горного массива.

На основании данных, полученных в результате замеров на стенде с пылевой камерой расчетно-экспериментальным путем установлен ряд параметров высоконапорных систем пылеподавления и пылевзрывозащиты, в т. ч. оптимальные

параметры давления воды, диаметра выпускного отверстия пневмогидрооросителя и его расстояния до следа резания резца. Из представленного на рис. 4 графика зависимости остаточной запыленности C (%) от давления воды P (МПа) и расстояния между оросителем и следом резания L (мм) видно, что при давлении $P = 10$ МПа и расстоянии $L = 90$ мм дальнейшее повышение давления и сокращение расстояния не дают сколь-нибудь заметных изменений запыленности C (%).

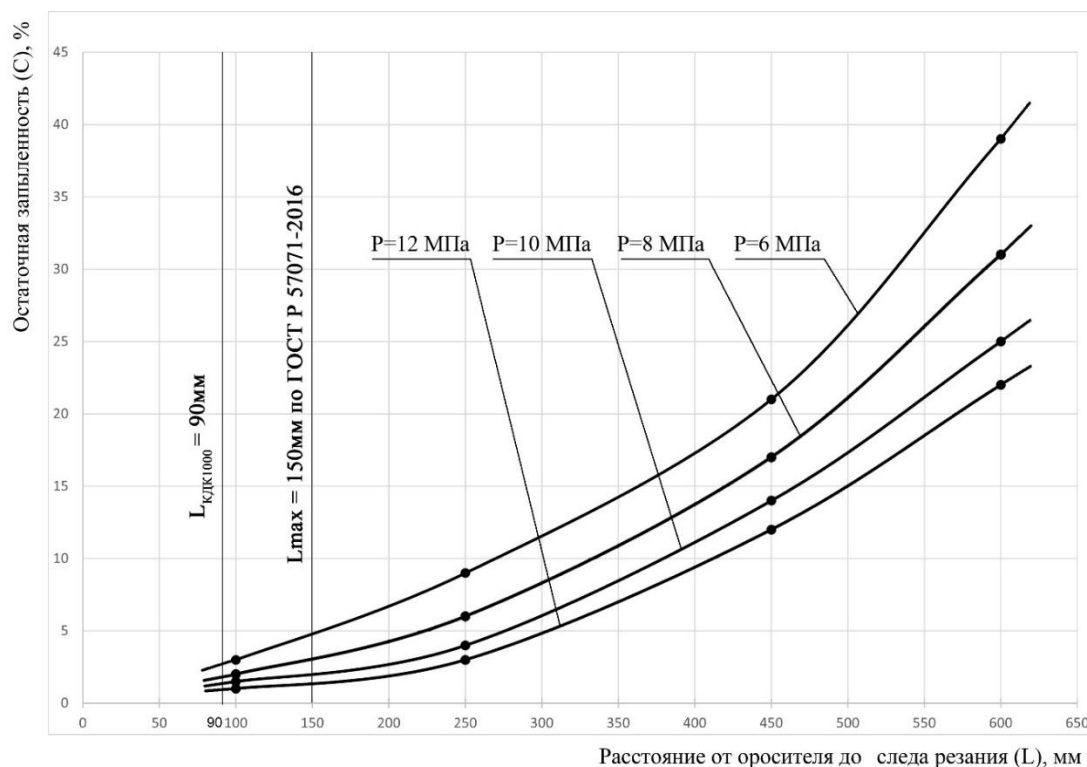


Рис. 4. Зависимость остаточной запыленности от расстояния между оросителем и следом резания при расходе воды 2,5 л/мин и давлении у оросителя 6, 8, 10 и 12 МПа

Помимо высоконапорного внутреннего орошения исполнительные органы комбайна в зоне каждого шнека оснащены блоками высоконапорного внешнего орошения. Подаваемая на шнеки тонкодисперсная водовоздушная смесь обеспечивает дополнительные пылеподавление и пылевзрывозащиту. Для обеспечения максимальной эффективности систем пылеподавления и пылевзрывозащиты на исполнительные органы подается вода с суммарным расходом 480 л/мин, что составляет 75 % от общего расхода (ГОСТ Р 57071-2016 п. 5.1.1.15). Остальные 25 % или 160 л/мин расхода воды обеспечивают низконапорное орошение зон погрузки угля шнеками на конвейер, пылеподавление при разрушении дробилкой негабаритных кусков угля и породы, а также – эффективное охлаждение всех интенсивно нагреваемых компонентов комбайна.

Впервые в мировой практике применена циркуляционная система смазки высоконагруженных трансмиссий режущей части комбайна. Запатентованные водовоздушные эжекторы-охладители этой системы (рис. 5) решают двойную задачу: повышение уровня пылевзрывозащиты комбайна и охлаждение поворотных блоков резания. Помимо охлаждения смазки, проходящей в виде воздушно-масляной смеси через полость кольцевого сечения каждого охладителя, происходит образование тонкодисперсной водовоздушной смеси, выбрасываемой через

выпускные патрубки эжекторов-охладителей, подаваемой в верхнюю и нижнюю зону каждого шнека. Создаваемая дополнительная оболочка из тонкодисперсной водовоздушной смеси вокруг шнека позволяет подавлять образование искр от взаимодействия режущего инструмента с кремнийсодержащими включениями в угольном пласте либо с абразивными боковыми породами. Кроме того, это решение обеспечит снижение концентрации метана, выделяемого из забоя, за счет нагнетания потока водовоздушной смеси от эжекторов в зону разрушения и навалки угля шнеком с дополнительной возможностью исключения воспламенения и взрыва рудничного газа и пыли.

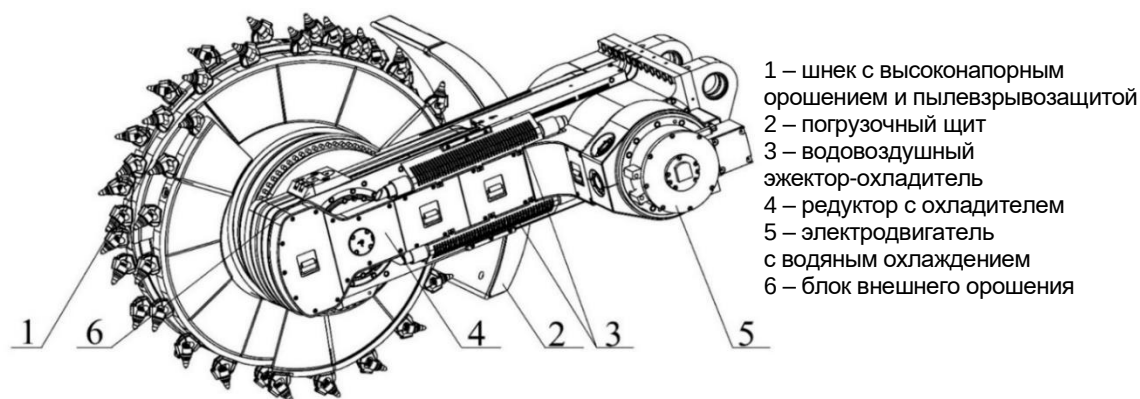


Рис. 5. Блок резания комбайна КДК 1000 с водовоздушными эжекторами-охладителями

В соответствии с табл. 2 подача 480 л/мин воды с давлением 10 МПа в зону резания комбайна КДК 1000 в 1,7 раза превышает количество воды, подаваемой в комбайне SL500 (Eickhoff) (280 л/мин), что адекватно улучшает степень охлаждения и пылевзрывозащиты нового комбайна по сравнению с лучшим зарубежным аналогом, эксплуатируемым в Кузбассе. В сравнении с лучшим отечественным комбайном КДК 500-09, работающим в РФ и имеющим подачу воды в зону резания 150 л/мин при давлении 2 МПа, эффективность новой системы существенно выше. Это объясняется как увеличением в 3,2 раза расхода воды, подаваемой на шнек, так и более высокой (в 3–5 раз) эффективностью пылеподавления высоконапорных струй водовоздушного аэрозоля.

Общая энерговооруженность очистных комбайнов для отработки пластов мощностью 2,5–5,5 м в среднем составляет 1300–1800 кВт, а коэффициент машинного времени в высоконагруженных лавах достигает 0,7–0,9. При таких режимах работы возможен нагрев корпусных поверхностей электродвигателей, редукторов, маслобаков и электроблоков с частотными преобразователями до температуры, способной вызвать возгорание угольной пыли либо рудничного газа. В соответствии с п. 4.15 ГОСТ Р 57071-2016 максимальная температура нагрева наружных частей комбайна не должна превышать 150 °С в случаях возможного образования отложений слоя угольной пыли. С целью предотвращения нагрева до критической температуры элементов комбайна предусмотрено принудительное водяное охлаждение всех восьми электродвигателей комбайна (блоков резания, блоков подачи, насосной станции, дробилки, систем смазки), а также маслобаков гидросистемы и системы смазки, редукторов режущей и подающей частей, электроблока. Всего в конструкции комбайна предусмотрена установка 18 охладителей с суммарной производительностью системы охлаждения 800 л/мин.

Резцы, резцедержатели и погрузочные лопасти шнеков являются наиболее нагреваемыми элементами очистного комбайна в процессе разрушения горного массива и погрузки горной массы на конвейер. При диаметрах шнеков 1800–2800 мм в зависимости от обрабатываемой мощности пласта при скорости вращения шнеков 25 об./мин линейная скорость режущего инструмента составляет 2,4–3,7 м/с. При среднем усилии подачи 50–100 кН, необходимой только на разрушение горного массива и погрузку горной массы, при столь высокой скорости перемещения периферийных элементов шнека, прежде всего резцов, без эффективного охлаждения происходит их нагрев до 250–300 °С. Подача 2,5 л/мин воды под высоким давлением в каждый след резания на расстоянии не более 20 мм от режущей кромки резца и с расстояния не более 90 мм от пневмогидрооросителя (согласно ГОСТ Р 57071-2016 – до 150 мм) позволяет не только исключить воспламенение и взрывы газа и пыли, но и втрое снизить температуру нагрева резцов при повышении их стойкости в два раза.

Баланс полезной мощности (P_p), затрачиваемой на выполнение основных функций комбайна [8], состоит из:

$$P_{\Pi} = P_p + P_{\Pi\Gamma} + P_{\Pi\Gamma} + P_{\text{ид}},$$

где P_p – полезная мощность, затрачиваемая на резание, кВт;

$P_{\Pi\Gamma}$ – мощность, затрачиваемая на погрузку горной массы, кВт;

$P_{\Pi\Gamma}$ – мощность, затрачиваемая на перемещение комбайна, кВт;

$P_{\text{ид}}$ – мощность, затрачиваемая на изнашивание и деформацию его деталей, кВт.

Теряемая мощность P_T (кВт) при работе комбайна, как правило, передается в тепло и определяется по формуле:

$$P_T = P_{\text{уст}} - P_{\Pi},$$

где $P_{\text{уст}}$ – установленная мощность комбайна, кВт.

Она зависит от целого ряда факторов (характеристик горного массива, конструкционных особенностей комбайна, прежде всего исполнительного органа, горнотехнических условий отработки лавы и др.) и составляет

$$P_T = 0,27\text{--}0,55 \text{ от } P_{\text{уст}}.$$

В случае с комбайном КДК 1000, конструкция которого предусматривает существенное снижение холостых потерь мощности, максимальная теряемая мощность составит

$$P_T^{\text{max}} = 1415 \times 0,27 = 382 \text{ кВт}$$

Учитывая, что на режущую часть приходится 1100 кВт установленной мощности на комбайне, а холостые потери ее мощности составляют 0,3–0,4 при потерях мощности в электродвигателях и трансмиссии режущей части не более 10 %, то холостые потери мощности на разрушение массива и погрузку горной массы составят

$$P_{T\text{ ио}}^{\text{max}} = 1100 \times (0,35 - 0,1) = 275 \text{ кВт},$$

или 70 % от всех холостых потерь мощности комбайна.

С целью эффективного охлаждения шнеков режущей части комбайна на внутреннее и внешнее высоконапорное орошение и их охлаждение подается 75 % от всей подаваемой на комбайн воды, т. е. 480 л/мин из 640 л/мин.

Следует отметить, что шнеки с внутренним орошением при подводе воды под каждый резец в своей конструкции предусматривают более 200 каналов, заполняемых при работе проточной водой. По сути, каждый из шнеков является охладителем с расходом охлаждающей воды 180 л/мин. С учетом высоконапорного орошения от блока внешнего орошения с подачей воды 40 л/мин и струй водовоздушных аэрозолей от двух эжекторов-охладителей с суммарным расходом 20 л/мин каждый из шнеков комбайна КДК 1000 имеет систему охлаждения с 5-кратным преимуществом более эффективную, чем в любом из серийных отечественных очистных комбайнов.

В создаваемом импортозамещающем очистном комбайне КДК 1000 впервые для отечественных комбайнов применена система автоматизированного контроля параметров расхода и давления воды, подаваемой по каналам высокого и низкого давления систем пылеподавления, пылевзрывозащиты и охлаждения. В соответствии с программным обеспечением обязательному контролю подлежит 19 параметров системы в различных ее участках, из которых 12 контролируемых параметров давления и расхода воды во внутреннем и внешнем орошении шнеков – контроль режима пылевзрывозащиты. При отклонении значений параметров от предусмотренных программным обеспечением режимов работы гибридной системы пылеподавления, пылевзрывозащиты и охлаждения происходит отключение комбайна от электросети с отображением на дисплее причины остановки.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Современный этап развития угольной промышленности Российской Федерации характеризуется концентрацией производства и непрерывным ростом нагрузок на очистные забои, достигающих 1,0–1,5 млн т угля в месяц. При этом условия эксплуатации сопровождаются целым рядом осложняющих факторов: высокой газообильностью и опасностью пластов по взрывам угольной пыли, глубиной горных работ, превышающей 700 м, требующих разрешения проблем вентиляционного и температурного режимов.

Создание импортозамещающего очистного комбайна КДК 1000, не уступающего по основным эксплуатационным параметрам (производительность, энерговооруженность, скорость и усилие подачи) ведущим зарубежным аналогам, требует первоочередного конструкторского разрешения вопросов, обеспечивающих надежную пылевзрывозащиту и исключаяющих воспламенение угольной пыли и рудничного газа при самых жестких условиях и режимах его эксплуатации.

Так, при росте эксплуатационных параметров в 1,6–3,0 раза по сравнению с лучшими отечественными серийными образцами (комбайны КДК 500 и КДК 700) параметры обеспечения техногенной безопасности комбайна КДК 1000 повышены в 3–10 раз.

Разработка и освоение серийного производства автоматизированной гибридной системы высоконапорного пылеподавления и пылевзрывозащиты в сочетании с низконапорным орошением и охлаждением всех нагреваемых электро-гидро-механических узлов очистного комбайна КДК 1000 позволяют создать базу для продуктивной и техногенно безопасной комбайновой отработки угольных пластов во всем их комплексно-механизированном диапазоне применения.

Список литературы / References

1. Барч, М. Инновации и традиции – новый комбайн Айкхофф SL900 / М. Барч // Уголь. – 2013. – № 5. – С. 42–47.
Barch, M. *Innovatsii i traditsii – novyy kombayn Aykkhoff SL900* [Innovations and Traditions – the new Eickhoff SL900 shearer]. Ugol, 2013, no. 5, pp. 42–47. (In Russian)
2. Оптимизация параметров орошения при различных производственных процессах, сопровождающихся пылевыделением в зависимости от свойств выделяющейся в атмосферу пыли / Д. А. Кузнецов, [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2016. – № 4. – С. 74–77.
Kuznetsov, D. A., Kuznetsova, K. V., Minibaev, R. R., Andryushin, I. A., Sergeev, O. A., Musinov, S. N. *Optimizatsiya parametrov orosheniya pri razlichnykh proizvodstvennykh protsessakh, soprovozhdayushchikhsya pylevydeleniyem v zavisimosti ot svoystv vydelyayushcheysya v atmosferu pyli* [Optimization of irrigation parameters in various production processes accompanied by dust release depending on the dust properties released into the atmosphere]. Bulletin of the Scientific Center for Safety of Work in the Coal industry, 2016, no. 4, pp. 74–77. (In Russian)
3. Горбатов, П. А. Выемочные комбайны нового поколения как энергетические системы мехатронного класса / П. А. Горбатов, В. В. Косарев, Н. М. Лысенко. – Донецк : Ноулидж, 2010. – 173 с.
Gorbatov, P. A., Kosarev, V. V., Lysenko, N. M. *Vyemochnyye kombayny novogo pokoleniya kak energeticheskiye sistemy mekhatronnogo klassa* [New generation shearer loaders as mechatronic class energy systems]. Donetsk, Knowledge, 2010, p. 173. (In Russian)
4. Павленко, С. В. Комбайн КДК500 в забоях ООО «Шахтоуправление «Садкинское» / С. В. Павленко, А. О. Иванков, В. В. Косарев // Уголь. – 2008. – № 6. – С. 26–30.
Pavlenko, S. V., Ivankov, A. O., Kosarev, V. V. *Kombayn KDK500 v zaboyakh OOO «Shakhtoupravleniye «Sadkinskoye»* [Combine KDK500 in faces of Company «Mine «Sadkinskoye»]. Ugol, 2008, no. 6, pp. 26–30. (In Russian)
5. Типоразмерный ряд очистных комбайнов КДК с частотно-регулируемым приводом подачи для отработки угольных пластов мощностью 1,2–5,5 м / И. В. Косарев [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2024. – № 5 (175). – С. 25–34.
Kosarev, I. V., Meznikov, A. V., Kosarev, V. V., Andreev, G. V., Chaikov, E. M. *Tiporazmernyy ryad ochistnykh kombaynov KDK s chastotno-reguliruyemym privodom podachi dlya otrabotki ugolnykh plastov moshchnostyu 1,2–5,5 m* [Standard-sized range of KDK shearers with variable frequency feed drive for mining coal seams with depth of 1.2–5.5 m]. Mining Equipment and Electromechanics, 2024, no. 5 (175), pp. 25–34. (In Russian)
6. Конструирование горных машин и оборудования: учебное пособие для обучающихся образовательных учреждений высшего образования / О. Е. Шабает, П. П. Зинченко, Е. Ю. Степаненко, Н. М. Лысенко; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Донецкий национальный технический университет. – Донецк : ДонНТУ, 2024. – 259 с.
Shabaev, O. E., Zinchenko, P. P., Stepanenko, E. Yu., Lysenko, N. M. *Konstruirovaniye gornyykh mashin i oborudovaniya : uchebnoye posobiye dlya obuchayushchikhsya obrazovatelnykh uchrezhdeniy vysshego obrazovaniya* [Designing of Mining Machines and equipment: Textbook for Students of Higher Education Institutions]. Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Donetsk national technical university». Donetsk, 2024. 259 p. (In Russian)
7. Система пылеподавления, охлаждения и фрикционного искрогашения для высокопродуктивного автоматизированного комбайна КДК 1000 / И. В. Косарев [и др.] // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. – 2024. – № 3 (66). – С. 136–144.
Kosarev, I. V., Meznikov, A. V., Kosarev, V. V., Andreyev, G. V., Chaykov, Ye. M. *Sistema pylepodavleniya, okhlazhdeniya i friktsionnogo iskrogasheniya dlya vysokoproduktivnogo*

avtomatizirovannogo kombayna KDK 1000 [Dust suppression, Cooling and Friction spark extinguishing system for the highly productive automated KDK 1000 shearer]. Methods and means of creating safe and healthy working conditions in coal mines, 2024, no. 3 (66), pp. 136-144. (In Russian)

8. Морозов, В. И. Очистные комбайны: Справочник / В. И. Морозов, В. И. Чуденков, Н. В. Сурина. – М.: Изд-во МГТУ, 2006. – 650 с.

Morozov, V. I., Chudnikov, V. I., Surina, N. V. *Ochistnyye kombayny: Spravochnik* [Shearers: handbook]. Moscow : MGSU Publishing House, 2006. 650 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук Г. И. Пештибаев

Дата поступления рукописи 27.02.2025

Дата опубликования 19.03.2025

Ivan Vasilyevich Kosarev, Director; e-mail: donuglemash@mail.ru

Artur Vladimirovich Meznikov, Deputy Director for Scientific Work; e-mail: avmeznikov@mail.ru

Vasily Vasilyevich Kosarev, Cand. of Tech. Sci., Scientific Secretary; e-mail: vodoleyvv3@mail.ru

Georgy Vladimirovich Andreev, Head of the Department; e-mail: andreew49@yandex.ru

Evgeny Mikhailovich Chaikov, Chief Project Designer; e-mail: chaykov_evgen@mail.ru

State Budgetary Institution «Donetsk Scientific Research, Design and Experimental Institute of Integrated Mine Mechanization»

283048, Donetsk, Universitetskaya st., 83 A. Phone: +7 (949) 331-29-27

IMPORT-SUBSTITUTING KDK 1000 SHEARER FOR PRODUCTIVE AND TECHNOGENICALLY SAFE MINING OF COAL SEAMS WITH DEPTH OF 2.5–5.5 M

Objective. Study of design solutions ensuring increased occupational safety, including normalization of dust, gas and thermal conditions, for highly productive and technogenically safe mining of coal seams in relation to the conditions of the Kuzbass mines of the best foreign shearers and the newly created import-substituting KDK 1000 shearer.

Methods. Analytical and statistical methods for assessing the effectiveness of the solutions under study.

Results. Development of automated hybrid systems of high-pressure dust suppression and dust explosion protection in combination with a branched low-pressure cooling and dust suppression system of the shearer ensure the maximum effect for normalizing the dust-gas and thermal modes of operation of highly loaded longwall faces, including those with particularly difficult operating conditions.

Scientific novelty. Development of fundamentally new design solutions, units and systems of the fifth generation of shearers, comparative analysis of their effectiveness in comparison with the best foreign samples of leading Western companies, subsequent mandatory construction of digital twins of the original units and machines in general with simulation modeling of the highly productive operation modes of these shearers with primary provision of increased occupational safety in the working faces and, above all, their technogenic safety, will make it possible to create a new scientific and technical base for domestic shearers construction industry.

Practical significance. The results of the study of the design solutions for normalization of dust and gas and temperature conditions will be used in the further development of new shearers, both import-substituting and replacing obsolete domestic ones with a significant increase in the level of labor protection and industrial sanitation in production faces.

Key words: cutting unit; auger; pneumatic hydraulic sprinkler; friction sparking; high-pressure irrigation; water-air aerosol; cooling system.

For citation: Kosarev I. V., Meznikov A. V., Kosarev V. V., Andreyev G. V., Chaykov E. M. Import-substituting KDK 1000 shearer for productive and technogenically safe mining of coal seams with depth of 2.5–5.5 m. *Scientific bulletin of the NII “Respirator”*, 2025, no. 1 (62), pp. 51-63. EDN UFBKWM

УДК [614.8"363":681.57]:519.2

Сергей Александрович Дмитриев, руководитель службы; e-mail: s.a.dmitriev-01@rambler.ru

Государственная корпорация «Ростех»

121357, Москва, ул. Верейская, д. 11. Тел: +7 (499) 244-83-93

ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН В ОБОСНОВАНИИ ТРЕБОВАНИЙ К ИЗМЕРЕНИЯМ ПРИ КООРДИНАТНОМ УПРАВЛЕНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Цель. Исследовать законы распределения случайных величин в процессе обоснования требований к измерениям при координатном управлении робототехническими комплексами.

Методы исследования. Анализ научной и технической литературы, изучение и обобщение опыта применения законов распределения случайных величин, наблюдение, сравнение, качественная и количественная обработка данных.

Результаты. Возможность применения законов распределения случайных величин для обоснования требований к измерениям при координатном управлении робототехническими комплексами, применимости распределения Рэлея при решении обозначенных задач.

Научная новизна. Впервые предложено использовать математические модели распределения Рэлея и распределения Гаусса в основе проектирования робототехнических комплексов и управления ими.

Практическая значимость. Законы распределения случайных величин могут быть использованы для оценивания ошибок и сбоев, в разработке алгоритмов управления роботом при координатном управлении робототехническими комплексами.

Ключевые слова: *распределение Рэлея; распределение Гаусса; робототехнические комплексы; координатное управление в технических системах.*

Для цитирования: *Дмитриев С. А. Законы распределения случайных величин в обосновании требований к измерениям при координатном управлении робототехническими комплексами // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 1 (62). – С. 64–68. – EDN XDLVJO*

Постановка проблемы. Координатное управление робототехническими комплексами, как и в целом исследование робототехники, на сегодняшний день представляет собой актуальную проблему [1, 2]. Это связано с совокупностью факторов, в частности, с общим развитием инженерного дела, интеллектуальных и иных систем, масштабного внедрения их в производство и повседневную деятельность человека.

С одной стороны, фиксируемая динамика развития робототехники ставит перед исследователями-инженерами ряд вопросов по оптимизации управления и автоматизации робототехнических комплексов. С другой стороны, учащающееся использование робототехники и робототехнических систем в инженерных решениях актуализирует теоретические грани исследования их математического обоснования [3, 4].

Робототехника – относительно новое для мировой инженерии направление, развивающееся динамично и бурно, и представляющее на сегодняшний день значительный интерес как для представителей технологической индустрии, так и для правительственных организаций, оборонного комплекса и иных государственных структур, что происходит благодаря её высокому научно-техническому потенциалу [2, 5].

Указанные факторы формируют актуальность проблемы обоснования требований к измерениям при координатном управлении робототехническими

системами. Поскольку координатное управление робототехническими комплексами представляет собой управление их движением, которое обычно осуществляют роботы, становится очевидной актуальность и научная значимость конструирования соответствующих аналитических моделей.

Анализ последних исследований и публикаций. Математическое обеспечение и обоснование технических процессов может задаваться различными величинами, моделями и параметрами. Прикладная математика и механика становятся науками, в рамках которых происходит моделирование техники и технологии, в том числе и различных видов управления робототехническими системами и комплексами.

Именно с математической точки зрения следует подходить к управлению робототехническими системами и комплексами [1, 3, 4].

Среди математических закономерностей важное место занимают законы распределения случайных величин, в настоящей статье предпринимается попытка показать их роль и значение в обосновании требований к измерениям при координатном управлении робототехническими системами.

Отметим, что законы распределения случайных величин – это вероятностные модели распределения значений случайной величины, в частности, в технических системах. Данные законы используют для анализа и прогнозирования динамики случайных процессов, в том числе в робототехнике и координатном управлении робототехническими системами. Среди данных законов представлены разнообразные математические модели [3, 6].

Поскольку распределение Рэлея часто используют при моделировании технических систем, включая робототехнику, данный метод является наиболее подходящим для решения задачи обоснования требований к измерениям при координатном управлении робототехническими системами. Также рассмотрено применение нормального распределения Гаусса, которое способствует оптимизации функционирования робототехнической системы посредством моделирования ошибок позиционирования или ориентации робота [6].

Цель – исследовать законы распределения случайных величин в процессе обоснования требований к измерениям при координатном управлении робототехническими комплексами.

Результаты исследований. Распределение Рэлея использовано для анализа ошибок измерений и других случайных процессов, в дальнейшем оно нашло широкое применение в различных областях науки и техники, таких как радиотехника, акустика, оптика и другие [6].

При этом, стоит отметить, что при обосновании требований к системе управления робототехнической системой целесообразно использовать модель усеченного закона распределения Рэлея. Данная модель позволяет рассчитать показатели точности управления робототехническими комплексами без завышения значений, что необходимо для оптимизации их функционирования.

Усеченное распределение Рэлея представляет собой математическую модель обобщенного показателя точности систем координатного управления. Данная модель использует преимущественно свойства усеченного справа распределения Рэлея, которое отличается от стандартного тем, что область определения ограничивается значением x , которое может принимать различные параметры. Данный аспект позволяет учитывать дополнительные ограничения на возможные значения случайной величины.

Использование усеченного распределения Рэлея в координатном управлении требует определения параметров дисперсии σ и координаты случайной величины x на основании сведений о погрешностях измерений или ошибок позиционирования в некоторой системе управления [6].

Такой подход позволяет более точно оценивать вероятность возникновения ошибок и разработать более эффективные алгоритмы коррекции и оптимизации параметров.

Следует отметить, что разработанный нами метод обоснования требований к точности координатного управления робототехническими системами на основе усеченного справа распределения Рэлея базируется на предположении о том, что в процессе координатного управления возможные значения расстояния r робототехнического комплекса фиксируется условием $0 \leq r \leq \mathfrak{R}_r < \infty$ и подчиняется распределению с неизвестным параметром σ :

$$\bar{f}_R(r, \sigma) = \begin{cases} 0, & \text{если } r = 0, \\ \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, & \text{если } 0 < r \leq \mathfrak{R}_r < \infty, \\ 1 - e^{-\frac{\mathfrak{R}_r^2}{2\sigma^2}}, & \end{cases} \quad (1)$$

где r – расстояние до робототехнического комплекса;

σ – значение параметра дисперсии;

$\mathfrak{R}$ – радиус области нахождения робототехнического комплекса.

При использовании данной модели установлена аналитическая зависимость для определения среднего квадратического отклонения, как обобщенной характеристики точности координатного управления, при котором с допустимой вероятностью P_0 можно достичь цели координатного управления движением робототехнического комплекса

$$P_0 = P(r < R, \sigma) = \frac{1 - e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}}}{1 - e^{-\frac{\mathfrak{R}^2}{2\sigma^2}}}. \quad (2)$$

где R – расстояние до исследуемой случайной точки.

Расчеты по формулам (1) и (2) представляют собой координацию робототехнического комплекса, а также вариативно демонстрируют их функциональность.

Распределение Гаусса (нормальное распределение) представляет собой один из наиболее часто используемых законов распределения случайных величин в робототехнике и управлении техническими системами, которое описывает множество случайных явлений, таких как ошибки и погрешности измерений.

В координатном управлении робототехническими системами нормальное распределение может быть использовано для моделирования ошибок ориентации и позиционирования робота. Данный подход позволяет определять требования к надежности и точности системы управления робототехническими комплексами, способствует корректной разработке алгоритмов и оптимизации заданных

параметров [3, 6]. Например, если известно среднее значение и стандартное отклонение для ошибок позиционирования робототехнической системы, возможно использование нормального распределения для прогнозирования вероятности пространственной координаты робота [1, 4].

Экспоненциальное распределение Гаусса может быть использовано для уточнения времени выхода из строя робототехнической системы. Данное распределение потенциально описывает время до выхода из строя каждого отдельного компонента системы, а распределение Гаусса может быть применено для моделирования общего времени до выхода из строя системы в целом [1, 3, 4].

Выводы. Для решения фундаментальных и прикладных задач координатного управления робототехническими системами используют распределение Гаусса. Данная математическая модель формирует основания для принятия роботами решений и их функционирования в пространстве, что представляет собой актуальные вопросы общего управления робототехникой.

Усеченное справа распределение Рэлея и распределения Гаусса формируют систему координатного управления роботами и робототехническими комплексами, а также могут быть использованы для оценивания ошибок и сбоев в разработке алгоритмов управления роботом.

Список литературы / References

1. Levene, P., Hutchinson S. Framework for Real-Time Path Planning in Changing Environments. *International Journal of Robotics Research*, 2016, no. 21 (12), pp. 93-107. (In English)

2. Овсяник, А. И. Основные направления развития робототехнических комплексов специального назначения в системе МЧС России / А. И. Овсяник, С. Л. Копнышев // *Материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной всемирному дню гражданской обороны*. – М. : АГПС МЧС России, 2018. – С. 89–99.

Ovsyanik, A. I., Kopynshev, S. L. *Osnovnyye napravleniya razvitiya robototekhnicheskikh kompleksov spetsialnogo naznacheniya v sisteme MChS Rossii* [Main directions of special-purpose robotic complexes development in the Russian Ministry of Emergency Situations]. *Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. posvyashchennoy vsemirnomu dnyu grazhdanskoy oborony*, Moscow, 2018, pp. 89-99. (In Russian)

3. Дмитриев, С. А. Обоснование требований к системе навигационного обеспечения робототехнических комплексов / С. А. Дмитриев // *Применение робототехнических комплексов специального назначения : Сборник трудов XXVIII Международной научно-практической конференции «Предотвращение. Спасение. Помощь»*. – М. : ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России, 2018. – С. 28–33.

Dmitriyev, S. A. *Obosnovanie trebovaniy k sisteme navigatsionnogo obespecheniya robototekhnicheskikh kompleksov* [Justification of requirements to the system of navigational support for robotic systems]. *Primeneniye robototekhnicheskikh kompleksov spetsialnogo naznacheniya: Proceedings of the XXVIII International Scientific and Practical Conference «Predotvrashcheniye. Spaseniye. Pomoshch»*, Moscow, The Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia, 2018, pp. 28-33. (In Russian)

4. Farshidian, F., Jelavić, E., Satapathy, A., Gifftaler, M., Buchli, J. Real-time motion planning of legged robots: a model predictive control approach. *Robotics*, 2017, no. 14, pp. 54-62. (In English)

5. Дмитриев, С. А. Направления развития робототехнических комплексов в системе МЧС России / С. А. Дмитриев // *Применение робототехнических комплексов специального*

назначения : Сборник трудов XXVIII Международной научно-практической конференции «Предотвращение. Спасение. Помощь». – М. : АГЗ МЧС России, 2018. – С. 24–28.

Dmitriyev, S. A. *Napravleniya razvitiya robototekhnicheskikh kompleksov v sisteme MChS Rossii* [Directions of development of robotic complexes in the system of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. *Primeneniye robototekhnicheskikh kompleksov spetsialnogo naznacheniya* : Proceedings of the XXVIII International Scientific and Practical Conference «Predotvrashcheniye. Spaseniye. Pomoshch», Moscow, The Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia, 2018, pp. 24-28. (In Russian)

6. Пицык, В. В. Модель оценки точности управления робототехническим комплексом с использованием усеченного справа распределения Рэлея / В. В. Пицык, Л. В. Суховерхова, С. А. Дмитриев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2020. – № 1. – С. 54–59.

Pitsyk, V. V., Sukhoverkhova, L. V., Dmitriyev S. A. *Model otsenki tochnosti upravleniya robototekhnicheskim kompleksom s ispolzovaniyem usechennogo sprava raspredeleniya Releya* [A model for estimating the control accuracy of a robotic complex using a Rayleigh distribution truncated to the right]. *Fire and emergencies: prevention, elimination*, 2020, no. 1, pp. 54-59. (In Russian)

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

Дата поступления рукописи 22.01.2025

Дата опубликования 19.03.2025

Sergey Alexandrovich Dmitriev, Head of the Service; e-mail: s.a.dmitriev-01@rambler.ru

State Corporation «Rostec»

121357, Moscow, Vereiskaya st., 11. Phone: +7 (499) 244-83-93

RANDOM VARIABLE DISTRIBUTION LAWS IN SUBSTANTIATION OF MEASUREMENT REQUIREMENTS IN COORDINATE CONTROL OF ROBOTIC COMPLEXES

Objective. Study the laws of random variables distribution in the process of substantiating the methodology of measurement requirements in coordinate control of robotic complexes.

Methods. Analysis of scientific and technical literature on the research topic, study and generalization of experience in applying the random variables distribution laws, observation, comparison, qualitative and quantitative data processing.

Results. Possibility of applying of the random variables distribution laws to substantiate the measurement requirements during coordinate control of robotic complexes, the applicability of the Rayleigh distribution in solving the specified tasks.

Scientific novelty. For the first time, it is proposed to use mathematical models of Rayleigh distribution and Gauss distribution as the basis for the design and control of robotic complexes.

Practical significance. The random variables distribution laws can be used to evaluate errors and failures, develop algorithms for controlling a robot in coordinate control of robotic complexes.

Keywords: Rayleigh distribution; Gaussian distribution; robotic complexes; coordinate control in technical systems.

For citation: Dmitriev S. A. Random variables distribution laws in substantiation of measurement requirements in coordinate control of robotic complexes. *Scientific bulletin of the NII “Respirator”*, 2025, no. 1 (62), pp. 64-68. EDN XDLVJO

УДК [622.867.2:614.8"363"]:[622.012.2:334.012.64]

*Александр Михайлович Симонов, нач. отд.; e-mail: simonov54_54@mail.ru;
Александр Викторович Мавроди, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.; e-mail: mavrodi-av@mail.ru;
Андрей Викторович Ивахненко, мл. науч. сотр.; e-mail: andrey_ivahnenko@mail.ru;
Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: +7 (856) 332-78-34*

ВЕДЕНИЕ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В НЕОБСЛУЖИВАЕМЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТ

Цель. Повышение безопасности труда горноспасателей при ведении аварийно-спасательных работ в необслуживаемых горных выработках шахт, имеющих выходы на земную поверхность.

Методы. В работе использованы информационно-аналитические исследования, анализ и обобщение современных литературных источников, результаты аварийности на малых угледобывающих предприятиях Донбасса, в ликвидации которых были задействованы горноспасательные подразделения.

Результаты. На основе проведенных исследований разработаны рекомендации по ведению аварийно-спасательных работ в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность, подразделениями горноспасательной службы.

Научная новизна. Предложен системный подход по решению вопросов безопасного ведения горноспасательных работ при авариях в горных выработках шахт, не состоящих на обслуживании горноспасательных подразделений.

Практическая значимость. Результаты исследований могут быть использованы при составлении оперативных планов ликвидации аварий и разработке нормативной документации в области горноспасательного дела и промышленной безопасности.

Ключевые слова: *необслуживаемый объект; земная поверхность; провал; аварийно-спасательные работы; чрезвычайная ситуация; горноспасательная служба.*

Для цитирования: Симонов А. М., Мавроди А. В., Ивахненко А. В. Ведение горноспасательных работ в необслуживаемых горных выработках шахт // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 1 (62). – С. 69–74. – EDN YVGFEA

Постановка проблемы. Закрытие нерентабельных угольных шахт, расположенных на территории Донецкой Народной Республики, привело к появлению в границах горных отводов малых угледобывающих предприятий (копанок, артелей) по добыче угля подземным способом. Такие предприятия характеризуются низким уровнем производственной безопасности и состояния охраны труда, что зачастую приводит к авариям с человеческими жертвами, ликвидация которых требует привлечения специальных сил и средств [1–3].

Проблемой закрытых угольных шахт остаются провалы на поверхности, которые образуются в окрестности зоны деятельности малых угледобывающих предприятий, ликвидированных шурфов, наклонных стволов и подземных выработок, расположенных на небольшой глубине. Только на территории города Донецка насчитывается свыше 1000 таких опасных мест, а практика показывает, что надежных способов предотвращения образования провалов пока не существует.

Пока ведутся поиски решения по устранению последствий проблем, возникающих от закрытия горных предприятий и образования провалов на земной поверхности, ответственность за обеспечение безопасности населения в условиях повышенного риска чрезвычайных ситуаций возлагается на аварийно-спасательные формирования, которые должны быть готовы оперативно реагировать

на возникающие угрозы. В связи с этим разработка документа, регламентирующего безопасное ведение горноспасательных работ в необслуживаемых горных выработках, является важной и актуальной задачей в условиях закрывающихся шахт Донбасса.

Анализ последних исследований и публикаций. Согласно ст. 10 Федерального закона от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» предприятия, относящиеся к I классу опасности и осуществляющие добычу полезного ископаемого подземным способом, в целях обеспечения готовности к действиям по локализации и ликвидации последствий аварии, обязаны планировать и осуществлять данные мероприятия на опасном производственном объекте (План мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте – ПЛА). Главная цель внедрения ПЛА – спасение жизни и здоровья людей, снижение рисков нанесения ущерба окружающей среде [4, 5].

Ликвидация подобных аварий должна осуществляться силами и средствами организаций, органов местного самоуправления, органов исполнительной власти, на территориях которых сложилась чрезвычайная ситуация [6]. Однако большинство малых угледобывающих предприятий не состоят на обслуживании подразделений военизированной горноспасательной части (далее – ВГСЧ), на таких предприятиях соответственно отсутствуют ПЛА.

При этом в случае возникновения аварии, на основании обращений органов местного самоуправления и по решению органов, осуществляющих управление деятельностью аварийно-спасательных служб, привлекают подразделения ВГСЧ [2, 6].

Аварии на необслуживаемых объектах, как правило, происходят из-за низкой трудовой и производственной дисциплины, несоответствия крепления горных выработок, отсутствия достаточного проветривания, недостаточного контроля состава рудничной атмосферы, неудовлетворительного технического состояния оборудования и механизмов, нередко сделанных из подручных средств.

Ликвидация последствий аварий на опасных производственных объектах сопряжена с высоким риском травмирования горноспасателей поражающими факторами взрыва газовой смеси в горных выработках, воздействием высоких температур при пожарах, обрушением горных пород и др. [2, 6]. Вероятность потенциальных угроз и риск их реализации увеличивается в случае отсутствия необходимой технической, проектной и эксплуатационной документации (ПЛА, схема вентиляции, план горных работ). В связи с тем, что аварийный объект не состоит на обслуживании ВГСЧ, горноспасатели не знают сети горных выработок, расположение вентиляционных устройств, техническое состояние используемого оборудования и др., т. е. горноспасательные работы выполняют в неопределённых условиях. Зачастую информацию о характере произошедшей аварии, расположении выработок, количество застигнутых аварией людей, узнают от очевидцев или коллег пострадавших. Однако такая информация, как правило, не соответствует действительному положению на аварийном участке. В таких случаях старшему командному составу необходимо оперативно разрабатывать превентивные мероприятия, осуществлять оценку рисков чрезвычайной ситуации для спасения пострадавших и сохранения жизни и здоровья личного состава.

Цель работы – повышение безопасности труда горноспасателей при ведении аварийно-спасательных работ в необслуживаемых горных выработках шахт, имеющих выходы на земную поверхность.

Результаты исследований. Проведенный анализ аварийности на малых угледобывающих предприятиях с 2020 по 2022 гг. позволил установить основные причины и условия возникновения аварий в необслуживаемых горных выработках шахт (рис. 1).

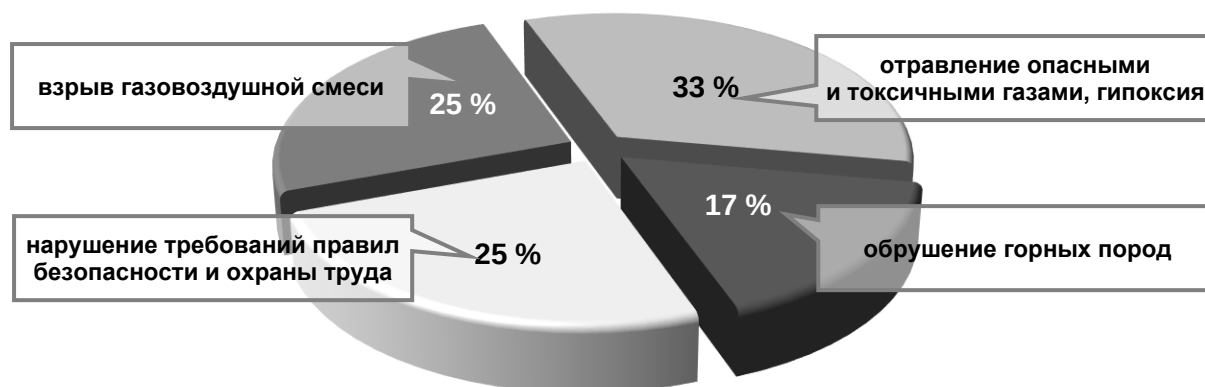


Рис. 1. Аварийность на малых угледобывающих предприятиях ДНР в период с 2020 по 2022 гг.

Для примера рассмотрим одну из аварий, произошедшую 19.02.2020 г. на малом угледобывающем предприятии в г. Шахтерске (данное предприятие не состояло на обслуживании ВГСЧ, соответственно ПЛА отсутствовал). От диспетчера ВГСЧ поступила информация о том, что на поверхности у устья горной выработки находится пять человек с ожогами. К месту возникновения аварии прибыли два отделения и две реанимационно-противошоковые группы 2 военизированного горноспасательного отряда г. Торез. Установлено следующее: устье наклонной горной выработки пройдено квадратным сечением (шириной 2,2 м и высотой 2,2 м), угол наклона выработки составляет $17^{\circ} \dots 20^{\circ}$, с поверхности в выработку проложено два электрических кабеля, устойчивое проветривание в аварийной выработке отсутствует. Вход к устью наклонной выработки осуществлен через эстакаду, внутри которой смонтирована электрическая лебедка неуставленного образца. Электроэнергия на промышленной площадке отсутствует. Под эстакадой находится грузовой автомобиль, загруженный горной массой (рис. 2).

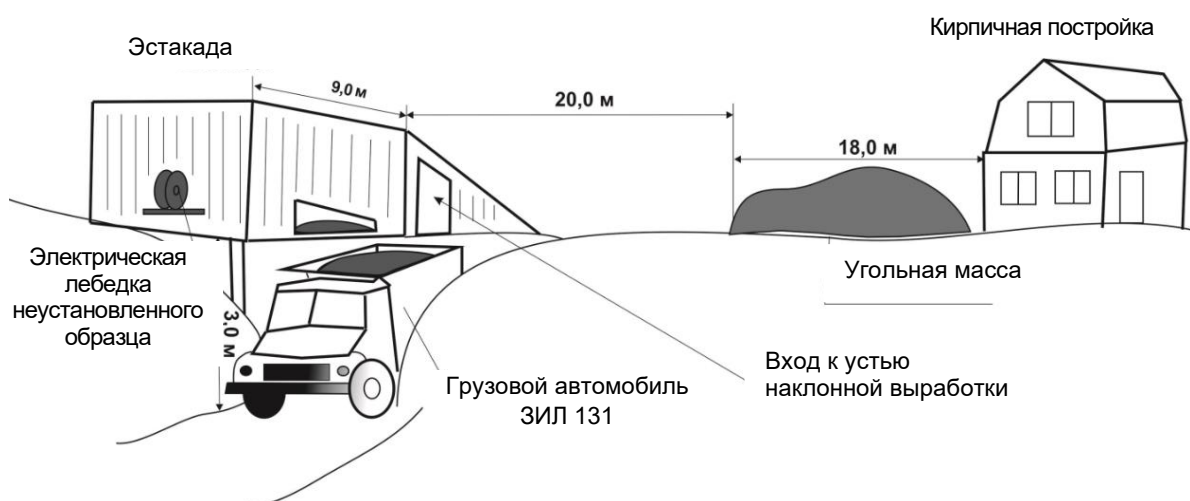


Рис. 2. Эскиз поверхностного комплекса малого угледобывающего предприятия

Протяженность наклонной горной выработки составляла 600 м. На расстоянии 600 м от устья наклонной выработки по левой стороне пройден разрез прямоугольным сечением (шириной 4,0 м и высотой 1,2 м), длиной 300 м с углом наклона 0° (рис. 3).

Горноспасательному отделению была дана команда обследовать наклонную горную выработку ниже устья на 20 м, замерить расход воздуха и осуществить контроль газовой обстановки.

В ходе опроса работников аварийного предприятия было установлено, что на поверхность вышли все люди из аварийной выработки. На основании этого ведение разведки прекращено и завершены горноспасательные работы.

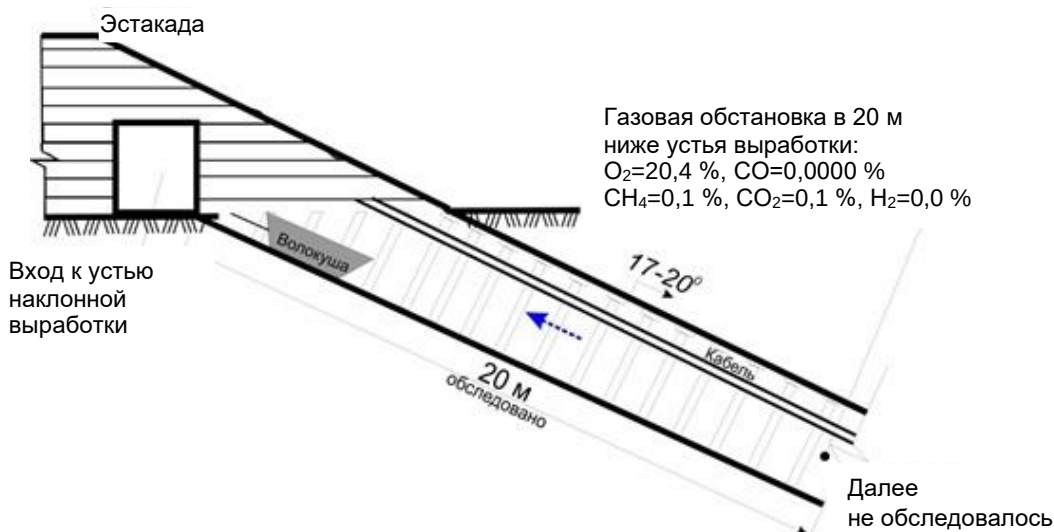


Рис. 3. Эскиз наклонной горной выработки
малого угледобывающего предприятия

В результате произошедшей аварии пять человек травмированы с различной степенью тяжести. Причиной аварии послужило воспламенение газовой смеси из-за несоблюдения требований правил безопасности и норм охраны труда.

На основании проведенных исследований установлены характерные особенности малых угледобывающих предприятий:

- низкий уровень производственной безопасности;
- удаленное расположение от стационарных источников энергии и транспортных коммуникаций;
- небольшая глубина разработки, отработка запасов в зоне газового выветривания пластов, что обуславливает небольшое газовыделение;
- малые ($1,5 \dots 6 \text{ м}^2$) поперечные сечения горных выработок;
- тупиковые схемы проветривания и отсутствие запасных выходов;
- отсутствие дополнительных выработок со свежими струями воздуха для выхода людей и передвижения горноспасателей к аварийному участку при авариях;
- неудовлетворительное проветривание подземных выработок, зачастую — использование сжатого воздуха (от работы отбойных молотков) для проветривания рабочей зоны, что является одной из основных причин воспламенений (взрывов) метановоздушной смеси и отравлений рабочих [2].

Учитывая значимость данной проблемы, в настоящее время осуществляется разработка «Рекомендаций по ведению аварийно-спасательных работ

в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность, подразделениями горноспасательной службы». В документе будут учтены требования действующих нормативных правовых актов Российской Федерации в области промышленной безопасности и охраны труда, а также подробно изложены порядок и организация оперативных действий личного состава, меры безопасности и оценка рисков при ведении горноспасательных работ подразделениями ВГСЧ на малых угледобывающих предприятиях, расположенных на территории Донецкой Народной Республики.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. В связи со случаями аварий на малых угледобывающих предприятиях и привлечением подразделений ВГСЧ, ведение горноспасательных работ в условиях неопределённого риска и отсутствия полной и достоверной информации требует высокой степени подготовки и координации действий личного состава.

На основании проведенных исследований установлены особенности малых угледобывающих предприятий, которые характеризуются высокой аварийностью и рядом других факторов, влияющих на их функционирование и безопасность. Это, в свою очередь, требует от горноспасателей индивидуального подхода, учитывающего особенности каждой конкретной аварии на таком объекте.

Разработка «Рекомендаций по ведению аварийно-спасательных работ в необслуживаемых горных выработках, имеющих выходы на земную поверхность, подразделениями горноспасательной службы» позволит повысить уровень безопасности личного состава, сократить время на спасение людей и минимизировать материальный ущерб при ликвидации аварии.

Список литературы / References

1. Миронюк, С. М. Ликвидация шахт российского Донбасса и вопросы безопасного ведения горных работ / С. М. Миронюк // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 11. – С. 174–177.

Mironyuk, S. M. *Likvidatsiya shakht rossiyskogo Donbassa i voprosy bezopasnogo vedeniya gornykh rabot* [Liquidation of mines in Russian Donbass and issues of safe mining]. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2005, no. 11, pp. 174-177. (In Russian)

2. Галлер, А. А. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело : учебное пособие / А. А. Галлер ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2021. – 154 с. – ISBN 978-5-00137-216-5.

Galler, A. A. *Bezopasnost vedeniya gornykh rabot i gornospasatelnoe delo: uchebnoe posobie* [Safe mining and Mining rescue : Training manual]. Kemerovo, 2021, 154 p. (In Russian)

3. Кураков, Ю. И. Влияние закрытия шахт на окружающую среду шахтёрских городов и поселков / Ю. И. Кураков, В. Н. Кухтин, В. Г. Суворов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – № 4. – С. 123–124.

Kurakov, Yu. I., Kukhtin, V. N., Suvorov, V. G. *Vliyanie zakrytiya shakht na okruzhayushchuyu sredu shakhtyerskikh gorodov i poselkov* [Impact of mining sites closures on the environment of mining towns and villages]. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2004, no. 4, pp. 123-124. (In Russian)

4. Методические рекомендации по выбору методов оценки рисков чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2021. – 32 с.

Metodicheskiye rekomendatsii po vyboru metodov otsenki riskov chrezvychaynykh situatsiy na opasnykh proizvodstvennykh ob'yektakh [Methodical recommendations on selecting the techniques for emergency situations risks assessment at hazardous industrial facilities]. Donetsk, NIIGD "Respirator" Publ., 2021, 32 p. (In Russian)

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

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

6. Мажуховский, Э. И. Аварийно-спасательные и другие неотложные работы / Э. И. Мажуховский // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – Т. 3, № 2 (10). – С. 88–92.

Mazhukhovskiy, E. I. *Avariyno-spasatelnye i drugie neotlozhnye raboty* [Emergency rescue and other urgent work]. *Civil Security Technology, Scientific and Technical Journal*, 2006, vol. 3, no. 2 (10), pp. 88-92. (In Russian)

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

Дата поступления рукописи 23.01.2025

Дата опубликования 19.03.2025

Aleksandr Mikhaylovich Simonov, Head of Dep.; e-mail: simonov54_54@mail.ru

Aleksandr Viktorovich Mavrodi, Cand. of Tech. Sci., Leading Researcher; e-mail: mavrodi-av@mail.ru

Andrey Viktorovich Ivakhnenko, Junior Researcher; e-mail: andrey_ivahnenko@mail.ru

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

283048, Donetsk, Artyoma St., 157, Phone: +7 (856) 332-78-34

CONDUCTING MINING RESCUE OPERATIONS IN UNATTENDED MINE WORKINGS

Objective. Improve safety of mining rescuers during rescue operations in unattended mining operations equipped with exits to the Earth's surface.

Methods. Information and analytical research, analysis and generalization of modern literary sources, the results of accidents at small coal mining enterprises in Donbass, in the liquidation of which mining rescue units were involved have been used in the study.

Results. Based on the conducted research Recommendations for conducting emergency rescue operations in unattended mining operations equipped with exits to the Earth's surface by units of the mining rescue service have been developed.

Scientific novelty. A systematic approach has been proposed to address the issues of safe conduct of mining rescue operations in case of accidents in the workings of mines that are not serviced by mining rescue units.

Practical value. The research results can be used in the preparation of operational plans for the elimination of accidents and the development of regulatory documentation in the field of mining and industrial safety.

Keywords: *unattended site; ground surface; sinkhole; emergency rescue operations; emergency situation; mountain rescue service.*

For citation: Simonov A. M., Mavrodi A. V., Ivakhnenko A. V. Conducting mining rescue operations in unattended mine workings. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2025, no. 1 (62), pp. 69-74. EDN YVGFEA

III. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

УДК [614.8"363":629.36]:[004.021:629.3.083]

*Александр Викторович Кузьмин, канд. техн. наук, доцент; e-mail: avkuzmin16@gmail.com
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева – КАИ»*

420111, г. Казань, ул. Толстого, 15. Тел.: +7 (909) 311-57-22

Максим Михайлович Васин, директор; e-mail: m.vasin@sky-lon.ru

ООО «Смарт Телематик Технолоджи»

141402, Московская обл., г. Химки, ул. Ленинградская, вл. 39, стр. 6. Тел.: 8(924)844-10-08

Михаил Федорович Баринов, канд. техн. наук, доцент; e-mail: m.barinov@amchs.ru

Денис Владимирович Мясников, канд. техн. наук, доцент; e-mail: d.miasnikov@amchs.ru

ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»

141435, Московская обл., г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, 1А. Тел.: 8(982)104-24-66

ПРЕДИКТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ МАШИН ТЯЖЕЛОГО КЛАССА С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ ТЕЛЕМЕТРИИ

Цель. Определение направлений применения средств телеметрии при предиктивной диагностике аварийно-спасательных машин тяжелого класса.

Методы. Применен комплексный метод исследования, включающий анализ литературных источников, проведение моделирования при исследовании жизненного цикла аварийно-спасательных машин тяжелого класса.

Результаты. Сделан вывод о необходимости внедрения информационных платформ и предоставление доступа в них пользователям системы для настройки отчетов, уведомлений под конкретный тип аварийно-спасательных машин тяжелого класса, при которых будет обеспечиваться безаварийная работа в продолжительность всего жизненного цикла аварийно-спасательных машин тяжелого класса.

Научная новизна. Впервые обоснована целесообразность и конкретные методы применения средств телеметрии при предиктивной диагностике аварийно-спасательных машин тяжелого класса.

Практическая значимость. Представленные практические рекомендации могут быть полезны с точки зрения обеспечения высокой готовности аварийно-спасательных служб к выполнению задач по предназначению.

Ключевые слова: безаварийная работа; аварийно-спасательные машины; телеметрия; техническое обслуживание; моточасы; ремонт.

Для цитирования: Кузьмин А. В., Васин М. М., Баринов М. Ф., Мясников Д. В. Предиктивная диагностика аварийно-спасательных машин тяжелого класса с применением средств телеметрии // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 1 (62). – С. 75–80. – EDN UVWNKS

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Аварийно-спасательные машины тяжелого класса (далее – АСМТК) используются для проведения аварийно-спасательных работ в сложных условиях, когда от их исправности зависит жизнь и здоровье людей. В связи с этим, своевременное выявление и устранение неисправностей АСМТК является одной из важнейших задач обеспечения их эксплуатации.

Традиционные методы диагностики неисправностей, основанные на проведении периодических осмотров и испытаний, не всегда позволяют выявить дефекты на ранней стадии их развития, что может привести к отказу машины и срыву выполнения поставленной задачи.

Предиктивная диагностика – это метод контроля технического состояния объекта, основанный на прогнозировании его неисправностей. Предиктивная диагностика позволяет выявить неисправности на ранней стадии их развития, что обеспечивает возможность их своевременного устранения и предотвращения аварийных ситуаций.

Анализ последних исследований и публикаций. Задача сократить количество возможных ситуаций с наличием неисправностей во время выезда может быть решена с помощью применения современных технологий, в частности, применения технологий телеметрии для сбора и анализа данных по машине [1, 2]. В качестве системы по консолидации данных и анализу может быть использована новая программная разработка, информационная платформа телематики Скайлон.

Для проведения предиктивной диагностики АСМТК в настоящее время используют различные методы, в том числе: контроль параметров работы узлов и агрегатов; акустическая, вибрационная, термографическая диагностика; магнитопорошковая дефектоскопия.

Техническое обслуживание (далее – ТО) АСМТК проводят с целью поддержания их в исправном состоянии и готовности к выполнению возложенных задач [3, 4]. В зависимости от периодичности проведения ТО подразделяют на ежедневное ТО, первое, второе техническое обслуживание (соответственно, ТО-1, ТО-2) и сезонное техническое обслуживание.

Ежедневное ТО проводят перед выездом АСМТК на задание и после возвращения. При ежедневном ТО проверяют состояние узлов и агрегатов, а также выполняют необходимые регулировки. Первое и второе техническое обслуживание (ТО-1, ТО-2) проводят через определенное количество часов работы АСМТК или через определенный срок эксплуатации. Сезонное техническое обслуживание проводят перед началом и после окончания зимнего периода эксплуатации АСМТК.

Ремонт АСМТК проводят в случае обнаружения неисправностей, которые не могут быть устранены при проведении ТО [5, 6].

Цель. Определение направлений применения средств телеметрии при предиктивной диагностике аварийно-спасательных машин тяжелого класса.

Результаты исследований. Внедрение телематики Скайлон в АСМТК позволяет проводить предиктивную диагностику и алгоритмы, а именно:

- отображает события и производит действия на основании настроенных критериев;
- информирует диспетчера / механика;
- сохраняет журнал событий и отображает информацию на карте;
- проводит диспетчера по чек-листу при возникновении события.

Модуль телематики Скайлон в аварийно-спасательных машинах тяжелого класса сохраняет историю эксплуатации машины; отображает отчеты по перемещениям, техническому состоянию машины; проводит аналитику безопасности вождения по заданным параметрам. Логистический модуль Скайлон в АСМТК отображает зоны пересечения маршрутов; контролирует опоздания по маршруту; сохраняет весь учет АСМ тяжелого типа.

Для повышения эффективности работы аварийно-спасательных машин тяжелого класса предлагается внедрить дистанционный контроль технико-эксплуатационных параметров и неисправностей с помощью систем телеметрии Скайлон.

Внедрение информационной системы телеметрии для предиктивной диагностики проводят в несколько этапов:

1. Этап внедрения оборудования на аварийно-спасательную машину тяжелого класса. Данный этап включает в себя установку оборудования телеметрии на АСМТК, с изучением мест подключений в машине для фиксирования максимального количества информации от датчиков или по показателям машины.

Пример показателей машины для этапа 1: «Пробег АСМТК, местоположение машины, скорость транспортного средства, моточасы двигателя АСМТК, моточасы агрегата, температура двигателя, температура охлаждающей жидкости, расход топлива, обороты двигателя, давление масла, напряжение батареи, критическое ускорение или торможение». На основании этих показателей можно выявлять неисправности двигателя, ходовой части, электрооборудования и систем безопасности АСМТК.

2. Этап внедрения информационной платформы Скайлон (рис. 1), предоставление доступа в платформу для пользователей системы и настройки отчетов, уведомлений под конкретный тип АСМТК.



Рис. 1. Визуальное отображение алгоритма внедрения системы телеметрии

После внедрения системы контроля настраивают алгоритмы формирования оповещений на основании критических пороговых значений.

Пример оповещения по критически высоким оборотам двигателя машины: «В случае показателя «Обороты двигателя» в диапазоне 3500–5000 и скорости АСМТК не более 30 км/ч, обороты машины считать критическими. Зафиксировать время возникновения критических оборотов, продолжительность данного события, а также повторяемость данного события. На основании полученных данных сформировать уведомление для механика или диспетчера об необходимости проверки АСМТК».

Пример оповещения по лампе неисправности в АСМТК. При срабатывании лампочки неисправности на приборной панели машины направляется информация в виде 0/1 (Нет/Да) в систему телематики Скайлон, на основе показателя 1 (Да) формируется уведомление механику или диспетчеру для реакции и устранения неисправности (рис. 2). Фиксируется информация по времени возникновения неисправности, продолжительности, количеству срабатываний за период.

Цифровая карта ТО включает в себя все необходимые интервалы для проведения работ, а также список необходимых операций с указанием типа проводимой работы (проверить, смазать, заменить) (рис. 3).

На основании показателей по «Моточасам двигателя АСМТК» или «Пробега АСМТК» система телематики просчитывает оставшееся количество моточасов или пробега до возникновения интервала ТО. В случае выставления определенных критериев по уведомлению механика или диспетчера системы, например, «уведомить о предстоящем ТО за 50 моточасов», за 50 моточасов до наступления интервала система формирует и направляет автоматически оповещение на электронную почту пользователя системы. В направляемом оповещении приводится информация по оставшемуся критерию до интервала, перечню необходимых работ, перечню необходимых материалов, которые будут использованы во время проведения работ по определенному интервалу ТО. После проведения работ по заданному интервалу технического обслуживания Механик или Диспетчер в информационной системе Скайлон может зафиксировать информацию по дате проведения ТО и выполненным операциям. Информация, вносимая механиком или диспетчером, будет сохраняться в электронном виде в качестве истории по обслуживанию объекта и будет доступна в любое время для выгрузки или просмотра, с компьютера через Web-браузер, подключенный к интернет-каналу связи.



Рис. 2. Визуальное отображение возникающих оповещений по показателям датчиков АСМТК

Порядковый номер Технического Обслуживания		ТО №0 ^{***}	ТО №0	ТО №1	ТО №2	ТО №3
Периодичность (тысяч км) обслуживания для автомобилей с двигателями	1.3л / 1.4л / 1.6л / 2.0л / 2.4л	2	2	15	30	45
	1.4л Турбо	2	2	10	20	30
Периодичность (месяцы)		2	2	12	24	36
Производимые работы						
Приводные ремни		I	I	I	I	I
Масло двигателя и масляный фильтр		I	R	R	R	R
Охлаждающая жидкость		I	I	I	I	R
Система выпуска		I			I	
Свечи зажигания* никелевые					R	
Свечи зажигания* иридиевые						
Воздушный фильтр				I	R	I
Топливный бак, топливные трубки и их соединения (течь, повреждение, крепёж)		I	I	I	I	I
Топливный фильтр вместе с б/насосом		I (каждые 105 000 км) для всех а/м с двигат				
Система вентиляции картера двигателя						
Система улавливания паров топлива						
Тормозные диски и накладки тормозных колодок (толщина, износ, повреждение)				I	I	I
Тормозные барабаны и тормозные колодки (износ, повреждение)				I	I	I
Тормозные шланги, трубки (течь, повреждение, крепёж)		I	I	I	I	I

Рис. 3. Цифровая карта ТО

Таким образом, внедрение телематической платформы Скайлон способствует комплексной реализации следующих организационных решений по исключению неисправностей АСМТК. Система мониторинга для отслеживания в режиме реального времени состояния АСМТК по различным параметрам, включая местоположение, скорость, маршрут, расход топлива, работу двигателя и других систем позволяет своевременно выявлять неисправности и принимать меры по их устранению. Алгоритмы прогнозирования позволят предусмотреть сроки наступления неисправностей АСМТК на основе данных мониторинга состояния техники и планировать ремонты таким образом, чтобы они не приводили к простоям техники. В целом, соблюдение регулярности ТО и использование телематических данных для выявления потенциальных неисправностей, позволит ориентировать систему технического обслуживания на предупреждение неисправностей, а не на их устранение.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Аварийно-спасательные машины тяжелого класса представляют собой сложную и дорогостоящую технику, которая используется для выполнения различных аварийно-спасательных работ. От их исправного состояния зависит безопасность спасателей и эффективность проведения работ.

Для обеспечения постоянной готовности АСМТК к выполнению возложенных задач необходимо проводить своевременное и качественное техническое обслуживание и ремонт.

Разработка организационных решений по исключению неисправностей АСМТК на основе телематической платформы Скайлон позволяет повысить эффективность контроля за состоянием техники и снизить вероятность возникновения неисправностей.

Список литературы / References

1. Моисеев, Ю. Н. Аварийно-спасательная техника и оборудование / Ю. Н. Моисеев, Р. И. Харламов. – М.: КУРС, 2022. – 192 с.
Moiseev, Yu. N., Kharlamov, R. I. *Avariyno-spasatel'naya tekhnika i oborudovanie* [Emergency rescue equipment and equipment]. Moscow: KURS, 2022, 192 p. (In Russian)
2. Пожарная техника; Учебник / М. Д. Безбородько, М. В. Алешков, В. В. Роевко [и др.]; под ред. М. Д. Безбородько. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 437 с.
Bezborodko, M. D. (red.), Aleshkov, M. V., Roenko, V. V. [et al.]. *Pozharnaya tekhnika: Uchebnik* [Fire fighting equipment: Textbook]. Moscow: FSBEI HE «Academy of the SFS of the EMERCOM of Russia», 2012, 437 p. (In Russian)
3. Виноградов, А. Ю. Аварийно-спасательные и специальные машины для оснащения формирований МЧС России / А. Ю. Виноградов // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – Т. 3, № 1(9). – С. 33–39.
Vinogradov A. Yu. *Avariyno-spasatel'nye i spetsialnye mashiny dlya osnashcheniya formirovaniy MChS Rossii* [Emergency rescue and special vehicles for equipping of the Ministry of Emergency Situations of Russia formations]. *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti*, 2006, vol. 3, no. 1 (9), pp. 33-39. (In Russian)
4. Клименти, А. Ю. Пожарно-спасательная техника и базовые машины / А. Ю. Клименти, С. А. Ведерников, В. Ю. Галичкин. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2016. – 321 с.

Klimenti, A. Yu., Vedernikov, S. A., Galichkin, V. Yu. *Pozharno-spasatel'naya tekhnika i bazovye mashiny* [Fire and rescue equipment and basic vehicles]. Volgograd: Volgograd State Technical University, 2016, 321 p. (In Russian)

5. Кулаковский, Б. Л. Пожарные аварийно-спасательные и специальные машины / Б. Л. Кулаковский, В. И. Маханько, А. В. Кузнецов. – Минск : Технопринт, 2002. – 382 с.

Kulakovskiy, B. L., Makhanko, V. I., Kuznetsov, A. V. *Pozharnye avariynno-spasatel'nye i spetsialnye mashiny* [Fire rescue and special vehicles]. Minsk: Tekhnoprint, 2002, 382 p. (In Russian)

6. Ламков, И. М. Аварийно-спасательная и пожарная техника / И. М. Ламков. Новосибирск : СГУВТ, 2022. – 108 с.

Lamkov, I. M. *Avariynno-spasatel'naya i pozharnaya tekhnika* [Emergency rescue and fire fighting equipment]. Novosibirsk: SSUWT, 2022, 108 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук А. В. Маевроди

Дата поступления рукописи 24.01.2025

Дата опубликования 19.03.2025

Alexander Viktorovich Kuzmin, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor; e-mail: avkuzmin16@gmail.com
FSBEI HE «Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI»

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

Maxim Mikhailovich Vasin, Director; e-mail: m.vasin@sky-lon.ru

Smart Telematics Technology, LLC

141402, Moscow region, Khimki, Leningradskaya st., 39, building 6. Phone: 8 (924) 844-10-08

Mikhail Fedorovich Barinov, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor; e-mail: m.barinov@amchs.ru

Denis Vladimirovich Myasnikov, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor; e-mail: d.miasnikov@amchs.ru

The Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia

141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya st., 1A. Phone: 8 (982) 104-24-66

PREDICTIVE DIAGNOSTICS OF HEAVY-DUTY RESCUE VEHICLES USING TELEMETRY TOOLS

Objective. Determine areas of application of telemetry tools in predictive diagnostics of heavy-duty emergency rescue vehicles.

Methods. A comprehensive research method has been used, including analysis of literary sources, modeling during the life cycle study of the of heavy-duty rescue vehicles.

Results. It is concluded that it is necessary to introduce information platforms and provide access to the platform for system users to configure reports and notifications for a specific type of heavy-duty rescue vehicles, which will ensure trouble-free operation during the entire life cycle of heavy-duty rescue vehicles.

Scientific novelty. For the first time, the feasibility and specific methods of using telemetry tools in predictive diagnostics of heavy-duty emergency rescue vehicles have been substantiated.

Practical significance. The presented practical recommendations can be useful in terms of view of ensuring high readiness of emergency rescue services to perform their intended tasks.

Key words: trouble-free operation; emergency rescue vehicles; telemetry; maintenance; engine hours; repair.

For citation: Kuzmin A. V., Vasin M. M., Barinov M. F., Myasnikov D. V. Predictive diagnostics of heavy-duty rescue vehicles using telemetry tools. *Scientific bulletin of the NII "Respirator"*, 2025, no. 1 (62), pp. 75-80. EDN UVWNKS

УДК [629.734.7:614.8-051]:001.891.3

Александр Александрович Матвийчук, ст. науч. сотр.; e-mail: gniiivm.m@yandex.ru

АО «Научно-производственное предприятие «Топаз»

129626, Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 16. Тел.: +7 (495) 909-84-82

АНАЛИЗ ПАРАШЮТНЫХ СИСТЕМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПАРАШЮТИСТАМИ-СПАСАТЕЛЯМИ

Цель. Системный анализ особенностей парашютных систем, применяемых парашютистами-спасателями, для обоснования приоритетных направлений их совершенствования.

Методы. При исследовании применялись методы источниковедения (изучение исторических источников с акцентом на их вовлечение в научную практику), системного анализа (индукция, дедукция, экспертный анализ), документоведения (информационный анализ), историографии (историко-сравнительный метод), аналогирования (прямая, субъективная и символическая аналогия).

Результаты. Анализ особенностей парашютных систем для парашютистов-спасателей показал, что потребностям обеспечения десантирования парашютистов-спасателей в наибольшей степени удовлетворяют парашютные системы «Стайер» и их аналоги, а также системы типа «Тандем», предназначенные для доставки в зону чрезвычайных ситуаций специалистов, не имеющих опыта парашютных спусков.

Научная новизна. Систематизированы характеристики парашютных систем, применяемых парашютистами-спасателями России, проанализировано соответствие потребностям практики и проведено их сравнение с аналогичными зарубежными системами в интересах обоснования приоритетов совершенствования.

Практическая значимость. Определено, что приоритетами совершенствования парашютных систем, применяемых парашютистами-спасателями, должны быть увеличение полетной массы без снижения точностных показателей при приземлении, возможности использования в условиях чрезвычайных ситуаций со сложными климатическими факторами, а также разработка новых видов доставки полезной нагрузки с меньшим риском для жизни парашютистов-спасателей.

Ключевые слова: *парашютист-спасатель; парашютная система; безопасность в чрезвычайных ситуациях; десантирование спасателей; парашютный спуск спасателей.*

Для цитирования: Матвийчук А. А. Анализ парашютных систем, применяемых парашютистами-спасателями // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 1 (62). – С. 81–90. – EDN ZFAVTS.

Постановка проблемы. Особенности ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, оказания помощи раненым и пораженным, проведения первоочередных аварийно-спасательных работ требуют участия парашютистов-спасателей. Участие парашютистов в тушении пожаров началось в 1930-е годы. [1].

В настоящее время в МЧС России к совершению прыжков с парашютом допущено более 300 специалистов, а к беспарашютному десантированию – порядка 2000 специалистов.

Десантные подразделения МЧС России регулярно выполняют задачи по поиску и спасанию, оказанию первой помощи и эвакуации воздушным транспортом экипажей и пассажиров с терпящих бедствие судов, рыбаков с оторвавшихся льдин, туристических групп, оказавшихся в критической ситуации в труднодоступной местности, а также людей с верхних этажей зданий и т. д.

Эффективность профессиональной деятельности десантников-пожарных и парашютистов-пожарных Центральной базы авиационной охраны лесов

«Авиалесоохрана», парашютистов-спасателей МЧС России существенно зависит от применяемых ими парашютных систем.

Цель исследования – системный анализ особенностей парашютных систем, применяемых парашютистами-спасателями, для обоснования приоритетных направлений их совершенствования.

Материалы и методы исследования. Проведенный анализ показал, что парашютисты-спасатели применяют следующие типы парашютных систем.

Парашиют Д-1-5У. Пожалуй, все парашютисты нашей страны свой первый самостоятельный прыжок совершили при помощи этого парашюта. Парашиют Д-1, который из-за своего веса в 17 кг получил прозвище «Дуб», создан в 1955 г., и с того времени это самый популярный парашют для тренировочных прыжков начинающих парашютистов. Некоторые его модификации до сих пор используются практически без изменений. Особенности парашюта являются простота и надежность [2].

Конструкция парашюта при общей полетной массе парашютиста до 120 кг обеспечивает следующие тактико-технические данные:

- надежная работа на высоте до 2200 м как при немедленном введении его в действие на скорости полета горизонтально летящего самолета до 250 км/ч, так и с любой задержкой раскрытия ранца;
- минимальная безопасная высота прыжка из горизонтально летящего самолета на скорости полета 180 км/ч при немедленном введении парашюта в действие – 150 м;
- устойчивость при снижении;
- управление парашютом при помощи двух строп управления;
- разворот купола на 360° в любую сторону за время не более 18 с при натяжении одной из двух строп управления и горизонтальное перемещение парашютиста в процессе снижения со средней скоростью 2,47 м/с;
- работоспособность при температуре от -40 до $+40$ °С;
- усилие, необходимое для выдергивания вытяжного кольца или вытяжного троса при принудительном или при ручном раскрытии ранца не более 156,9 Н.

Парашиют Д-6 серии 4 используется для учебно-тренировочных и боевых прыжков из самолетов и вертолетов военно-транспортной авиации (Ан-12, Ан-22, Ан-26, Ил-76 и вертолет Ми-8). Разработан в 1975 г., принят на вооружение в 1985 г. Этот парашют считается рекордсменом по количеству применений – до полумиллиона прыжков в год [3].

Парашиютная система имеет следующие тактико-технические данные:

- общая полетная масса парашютиста-десантника до 140 кг;
- скорость полета летательного аппарата 140–400 км/ч;
- максимальная высота прыжка 8000 м;
- минимальная высота прыжка (со стабилизацией 3 с) – 200 м;
- скорость снижения на стабилизирующем парашюте – 30–40 м/с;
- скорость снижения на основном парашюте (при общей массе парашютиста с парашютами 120 кг) – 5 м/с;
- усилие, необходимое для раскрытия двухконусного замка с помощью звена ручного раскрытия, – не более 156,9 Н;

- разворот в любую сторону на 180° при снятии шнура блокировки и перетянутых свободных концах – 29–60 с;
- разворот в любую сторону на 180° при заблокированных свободных концах – 15–25 с;
- средняя горизонтальная скорость перемещения вперед и назад при снятых шнурах блокировки на свободных концах – не менее 2,6 м/с;
- работоспособность при температуре от -40 до $+40^\circ\text{C}$;
- масса парашютной системы без переносной сумки и парашютного прибора – не более 11,5 кг.

Парашютная система «П1-У» предназначена для подготовки парашютистов начального обучения, а также для совершения учебно-тренировочных прыжков из воздушных судов отдельными парашютистами или группами парашютистов, применяется с 2009 г. [4, 5].

Конструкция парашютной системы «П1-У» обеспечивает следующие тактико-технические данные при общей полетной массе парашютиста до 120 кг:

- надежная работа на высоте до 2200 м над уровнем моря как при немедленном введении ее в действие после покидания парашютистом горизонтально летящего воздушного судна на приборной скорости полета 140...225 км/ч, так и на высоте до 4000 м с задержкой в раскрытии клапанов ранца до высоты не более 2200 м над уровнем моря;
- минимальная безопасная высота применения после покидания парашютистом горизонтально летящего воздушного судна на скорости полета 180 км/ч при немедленном введении в действие – 150 м, при этом время снижения на полностью наполненном парашюте составляет не менее 10 с;
- среднее значение вертикальной скорости снижения, приведенное к условиям международной стандартной атмосферы и полетной массе 120 кг на расстоянии 30–35 м до земли – не более 5,0 м/с;
- горизонтальная скорость перемещения на основном парашюте – 3,3 м/с;
- разворот в любую сторону на 360° за время не более 12 с;
- возможность освобождения от подвесной системы перед приводнением;
- работоспособность при температуре от -40 до $+40^\circ\text{C}$;
- масса парашюта – 11,5 кг;
- усилие, необходимое для введения в действие основного парашюта – не более 156,9 Н.

Парашютная система специального назначения «Стайер» создана в 2015 г. и предназначена для десантирования специальных подразделений и силовых структур [6].

Данная парашютная система имеет следующие тактико-технические характеристики при общей полетной массе парашютиста-десантника до 180 кг:

- надежная работа на высоте от 400 до 8000 м на скорости летательного аппарата до 255 км/ч при немедленном введении в действие и до 350 км/ч – при задержке в раскрытии 3 с и более;
- возможность крепления грузового контейнера спереди, а также возможность крепления вооружения и другого оборудования на подвесной системе парашютиста;
- работоспособность при температуре от -40 до $+40^\circ\text{C}$;

- масса парашюта 18 кг [4].

Парашютная система «Спирит СП» создана в 2011 г. и предназначена для выполнения тренировочных и производственных прыжков парашютистами-спасателями (в том числе с грузовым контейнером) с различными типами и размерами куполов основного и запасного парашютов. Конструкция комплекта парашютной системы обеспечивает два способа ее ввода в действие: 1) с ручным раскрытием ранца и вводом основного парашюта мягким вытяжным парашютом, который вводится в поток правой рукой; 2) с принудительным раскрытием ранца и стягиванием камеры с купола основного парашюта вытяжным звеном (дополнительная опция) [5, 7].

Конструкция парашютной системы обеспечивает следующие тактико-технические характеристики при общей полетной массе парашютиста до 160 кг:

- надежная работа основного и запасного парашютов при выполнении прыжков на приборной скорости 140–225 км/ч, как при немедленном введении в действие, так и с задержкой в раскрытии ранца;
- надежный ввод в работу основного парашюта при принудительном раскрытии ранца и стягивании камеры с купола основного парашюта вытяжным звеном (дополнительная опция) после покидания парашютистом горизонтально летящего вертолета на приборной скорости полета 80–140 км/ч, самолета – на приборной скорости полета 120–140 км/ч;
- управление основным парашютом двумя стропами управления;
- отсоединение основного парашюта от подвесной системы как на земле, так и в воздухе с помощью кольцевых замковых устройств, при этом усилие, необходимое для выдергивания звена отсоединения основного парашюта – не более 156,9 Н;
- масса парашюта – 16 кг;
- работоспособность при температуре от –40 до +40 °С [4].

Парашют основной 9-секционный специального назначения «Лесник-3» изготовлен из ткани с низкой воздухопроницаемостью типа F-111, предназначен для десантирования специалистов с комплектом необходимого снаряжения как с оборудованных, так и с необорудованных летательных аппаратов, при выполнении тренировочных и производственных прыжков с парашютом на ограниченные площадки [8].

Конструкция парашютной системы обеспечивает следующие тактико-технические характеристики при общей полетной массе до 160 кг:

- введение в действие основного парашюта на высотах до 4000 м;
- приборная скорость полёта летательного аппарата 140–350 км/ч, при скорости более 225 км/ч – после задержки (стабилизации) не менее 5 с;
- усилие для ввода в действие парашютной системы и усилие на расчеховку кольцевых замков основного парашюта – не более 156,9 Н;
- работоспособность при температуре от –40 до +40 °С;
- масса парашютной системы – 18 кг [4, 9].

Основной 9-секционный tandemный парашют «Стелс Тандем» изготовлен из ткани с нулевой или с низкой воздухопроницаемостью типа F-111 (в зависимости от типоразмера), предназначен для безопасной доставки пассажира или пассажира-специалиста, а также груза массой до 80 кг в заданный район [6, 10]. Является одним

из самых популярных tandemных парашютов. Основной парашют «Стелс Тандем» выпускается с 2001 г. и зарекомендовал себя как безопасный и надежный купол, обеспечивающий мягкое открытие; легкое управление; безопасное приземления в условиях турбулентности или в штиль. Парашют выпускается в четырех типоразмерах. Чем больше нагрузка купола, тем тяжелее движение строп управления, но даже при максимальной нагрузке tandem-мастеру не потребуются больших усилий для управления этим куполом.

Конструкция парашюта обеспечивает следующие тактико-технические характеристики:

- работа на высоте до 4000 м как при немедленном введении в действие, так и с любой задержкой в раскрытии клапанов ранца на скорости полета 140–250 км/ч;
- минимальная высота прыжка 900 м над уровнем площадки приземления, при этом потеря высоты на наполнение купола не превышает 400 м;
- безопасность приземления при ветре у земли не более 15 м/с с заходом парашютиста на цель против ветра;
- разворот на 360 ° при втягивании одной из строп управления за время до 12 с;
- работоспособность при температуре от –40 до +40 °С;
- полетная масса 190/220 кг;
- масса парашюта – не более 23 кг;
- вертикальная скорость не более 5 м/с;
- горизонтальная скорость не менее 13 м/с;
- усилие для ввода в действие парашютной системы и усилие на расчековку кольцевых замков основного парашюта – не более 156,9 Н [4].

Основные тактико-технические характеристики вышеперечисленных парашютных систем, применяемых парашютистами-спасателями России, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики парашютных систем,
применяемых парашютистами-спасателями России

Парашютная система	Тип купола	Полётная масса, кг	Высота применения, м	Скорость летательного аппарата, км/ч	Назначенный ресурс, кол-во прыжков
Д-1-5У	круглый	120	150–2200	до 250	200
Д-6 серии 4	круглый	140	150–8000	140–400	80–150
П1-У	круглый	120	150–4000	80–225	500
Стайер	крыло	180	400–8000	140–350	500
Спирит СП	крыло	160	400–4000	80–225	1000
Лесник-3М	крыло	160	400–4000	140–350	500
Стелс Тандем	крыло	220	400–8000	140–225	1200

Результаты исследования. Анализ потребностей практики обеспечения профессиональной деятельности парашютистов-спасателей показал, что парашютные системы должны обеспечивать возможность работы при неблагоприятных погодных условиях (сильный ветер, низкая облачность); обладать большой полетной массой для безопасной доставки пассажира или пассажира-специалиста, а также полезной нагрузки. Парашютные системы должны обладать высоким аэродинамическим качеством, обеспечивая точность приземления и возможность спускаться в труднодоступные зоны. Для работы в сложных климатических условиях они должны быть устойчивы к низким и к высоким температурам. Парашютные системы должны обеспечивать возможность совершения прыжка с высот более 4000 м в тех случаях, когда воздушное судно не имеет возможности приблизиться к месту очага чрезвычайной ситуации. Кроме того, они должны обеспечивать возможность планирования на длительные расстояния в заданное место.

Анализ практических потребностей показал, что доставка парашютными системами специалистов, не владеющих опытом парашютных спусков, в зону чрезвычайных ситуаций возможна при условии наличия специалистов (тандем-мастеров), прошедших специальную подготовку и получивших допуск на совершение прыжков в тандеме, и совершивших не менее 500 прыжков.

Результаты анализа парашютных систем, применяемых парашютистами-спасателями России, удовлетворяющих вышеперечисленным критериям, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа парашютных систем,
применяемых парашютистами-спасателями России

Парашютная система	Максимальная полетная масса, кг	Возможность приземления на ограниченные площадки	Безопасность приземления при ветре у земли, м/с	Высота применения, м
Д-1-5У	120	–	5	150–2200
Д-6 серии 4	140	–	5	150–8000
П1-У	120	–	5	150–4000
Стайер	180	+	15	400–8000
Спирит СП	160	+	15	400–4000
Лесник-3М	160	+	15	400–4000
Стелс Тандем	220	+	15	400–8000

Исходя из вышеизложенного, наиболее предпочтительными для парашютистов-спасателей являются парашютные системы с куполом типа «крыло». Применение таких систем в сложных погодных условиях (сильный ветер, облачность), обеспечение точного приземления на ограниченные площадки возможны при наличии дополнительной подготовки специалистов при использовании каждого вида парашютной системы. Таким образом, в наибольшей степени потребностям

парашютистов-спасателей удовлетворяют парашютные системы типа «Стайер» и «Стелс Тандем».

Парашютисты-спасатели США используют *парашютную систему свободного падения* **МС-5**, оснащенную 7-секционным куполом МТ-IX площадью 34,4 м². Работы по модернизации и приемочные испытания основного и запасного куполов этой парашютной системы проведены в 1985 г. В стандартном (типовом, базовом) исполнении она включает хорошо зарекомендовавшую систему принудительного раскрытия запасного парашюта Para-Flite, подвесную систему с семью точками регулировки, кольцевые замковые устройства для отсоединения основного парашюта типа FF-2 или его автоматического отсоединения и ввода запасного парашюта с помощью страхующих приборов типа AR2, Cypres. Комплектация включает подвесные системы с ранцами с регулируемым поясом и четыре кольца для крепления снаряжения, что позволяет применять кислородные баллоны, радиооборудование, навигационные средства, контейнеры для снаряжения и стропы крепления груза. МС-5 представляет собой сдвоенную парашютную систему с аналогичными основным и запасным куполами. Оба парашюта расположены в ранце на спине парашютиста, оставляя пространство спереди парашютиста свободным для размещения дополнительного снаряжения или приборов. Принципы, использованные в конструкции данной парашютной системы, позволяют обеспечить парашютисту высокую траекторную скорость, аэродинамическое качество и хорошую маневренность [5, 7, 9].

Основные характеристики парашютной системы МС-5 при максимальной полетной массе 160 кг:

- горизонтальная скорость – 16,10–40,25 м/с;
- свободный полет – 4,27–4,90 м/с;
- высота применения – 610–7625 м;
- скорость применения – до 240 км/ч [11].

Из сравнительного анализа вышеприведенных характеристик и показателей парашютных систем, применяемых парашютистами-спасателями России, следует, что отечественные образцы не уступают парашютной системе свободного падения МС 5.

Потребности практики показывают, что совершенствование применяемых парашютистами-спасателями России парашютных систем должно осуществляться в следующих приоритетных направлениях:

- увеличение полетной массы парашютных систем до 250 кг, либо использование управляемых парашютных платформ, которые предоставят спасательным группам дополнительные возможности по точной доставке медикаментов, грузов и спасательного оборудования;

- обеспечение возможности учета состояния парашютиста-спасателя, применяющего парашютную систему, как на этапах разработки (для обоснования физиологически рационального облика), так и на этапе эксплуатации (для разработки и реализации мероприятий, направленных на снижение тяжести и напряженности деятельности парашютистов-спасателей) [12–15];

- улучшение управляемости для точного приземления на ограниченные площадки радиусом 5 м;

- материалы, из которых выполнены парашютные системы, должны выдерживать экстремальные (от -50 до $+50$ °C и выше) климатические условия;
- увеличение ресурса использования не менее 1000 прыжков.

Выводы. Анализ особенностей парашютных систем, применяемых парашютистами-спасателями, показал, что потребностям практики обеспечения десантирования парашютистов-спасателей в наибольшей степени удовлетворяет парашютная система «Стайер» и ее аналоги, а также парашютные системы типа «Тандем» для доставки в зону чрезвычайных ситуаций специалистов, не имеющих опыта парашютных спусков.

Приоритетами совершенствования парашютных систем, применяемых парашютистами-спасателями Российской Федерации, должны быть увеличение полетной массы без снижения точностных показателей при приземлении, возможности использования в условиях чрезвычайных ситуаций со сложными климатическими факторами (высокая температура, сильный ветер), а также разработка новых видов доставки полезной нагрузки с меньшим риском для жизни парашютистов-спасателей.

Список литературы / References

1. Минаев, А. И. Парашют – это жизнь, от Леонардо до МЧС / А. И. Минаев // Технологии гражданской безопасности. – 2007. – Т. 4, № 1 (13). – С. 35–37.
Minaev, A. I. *Parashyut – eto zhizn, ot Leonardo do MChS* [The parachute means life, from Leonardo to the Ministry of Emergency Situations]. *Civil Security Technologies*, 2007, vol. 4, no. 1 (13), pp. 35-37. (In Russian)
2. Парашют: главное «оружие» десантника. URL: <https://rostec.ru/media/news/parashyut-glavnoe-oruzhie-desantnika/#start> (дата обращения: 29.04.2024).
Parashut: glavnoe «oruzhie» desantnika [Parachute: the main «weapon» of the paratrooper] URL: <https://rostec.ru/media/news/parashyut-glavnoe-oruzhie-desantnika/#start> (date of access: 29.04.2024). (In Russian)
3. Система парашютная десантная Д-6 серии 4. URL: https://aviatus.ru/parachuting/parachutes/d_6/ (дата обращения: 29.04.2024).
Sistema parashutnaya desantnaya D-6 serii 4 [Landing parachute system D-6 Series 4] URL: https://aviatus.ru/parachuting/parachutes/d_6/ (date of access: 29.04.2024). (In Russian)
4. Основные парашюты. URL: <https://paraavis.com/parachutes/osnovnye/> (дата обращения: 29.04.2024).
Osnovnye parashyuty [Basic parachutes] URL: <https://paraavis.com/parachutes/osnovnye/> (date of access: 29.04.2024). (In Russian)
5. Шибанов, Г. П. Эксплуатация и безопасность парашютных систем / Г. П. Шибанов. – М. : Машиностроение, 2005. – 287 с.
Shibanov, G. P. *Ekspluatatsiya i bezopasnost parashyutnykh sistem* [Operation and safety of parachute systems]. Moscow: Mashinostroenie, 2005. 287 p. (In Russian)
6. Козин, А. В. Анализ опыта разработки и применения неуправляемых парашютных систем доставки грузов / А. В. Козин, Ф. А. Ивкин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 5. – С. 57–62.
Kozin, A. V., Ivkin, F. A. *Analiz opyta razrabotki i primeneniya neupravlyaemykh parashyutnykh sistem dostavki грузов* [Analysis of the experience of development and application of unguided parachute cargo delivery systems]. *News of the Tula State University. Technical Sciences*, 2023, no. 5, pp. 57-62. (In Russian)

7. Астахов, С. А. Состояние и перспективы развития парашютостроения в Российской Федерации / С. А. Астахов // Вестник Академии военных наук. – 2015. – № 2 (51). – С. 144–146.

Astakhov, S. A. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya parashyutostroeniya v Rossiyskoy Federatsii* [State and prospects of parachute construction development in the Russian Federation]. *Bulletin of the Academy of Military Sciences*, 2015, no. 2 (51), pp. 144-146. (In Russian)

8. Лесник-3М: 9-секционный парашют специального назначения. URL: <https://paraavis.com/parachutes/osnovnye/lesnik-3m/> (дата обращения: 29.04.2024).

Lesnik-3M: 9-Sektsionnyy parashyut spetsialnogo naznacheniya [Lesnik-3M: 9-Special purpose sectional parachute]. URL: <https://paraavis.com/parachutes/osnovnye/lesnik-3m/> (access date: 29.04.2024). (In Russian)

9. Человек и безопасность полетов: Научно-практические аспекты снижения авиационной аварийности по причине человеческого фактора : сборник научных трудов / под редакцией В. А. Пономаренко, А. В. Чунтула. – Москва : Когито-центр, 2013. – 287 с.

Ponomarenko, V. A., Chuntula, A. V., red. *Chelovek i bezopasnost poletov: nauchno-prakticheskie aspekty snizheniya aviatsionnoy avariynosti po prichine chelovecheskogo faktora* [Man and flight safety: Scientific and Practical aspects of aviation accident reduction due to human factor]. *Moscow: Cogito-center*, 2013, 287 p. (In Russian)

10. Козин, А. В. Электронный страхующий парашютный прибор / А. В. Козин, Ф. А. Ивкин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 5. – С. 52–57.

Kozin, A. V., Ivkin, F. A. *Elektronnyy strakhuyushhiy parashyutnyy pribor* [Electronic safety parachute device]. *News of the Tula State University. Technical Sciences*, 2023, no. 5, pp. 52-57. (In Russian)

11. Юферов, С. Спецназ США получит парашют, который позволяет пролететь почти 50 километров / С. Юферов // Военное обозрение (сетевое издание). URL: <https://topwar.ru/53482-specnaz-ssha-poluchit-parashyut-kotoryy-pozvolyaet-proletet-pochti-50-kilometrov.html> (дата обращения: 29.04.2024).

Yuferev, S. *Spetsnaz SShA poluchit parashyut, kotoryy pozvolyaet proletet pochti 50 kilometrov* [US special forces will receive a parachute that allows flight almost 50 kilometers]. *Military Review (online publication)*. URL: <https://topwar.ru/53482-specnaz-ssha-poluchit-parashyut-kotoryy-pozvolyaet-proletet-pochti-50-kilometerov.html> (access date: 29.04.2024). (In Russian)

12. Прудников, С. И. Алгоритм автоматизированной диагностики состояния парашютиста / С. И. Прудников // Автоматизация. Современные технологии. – 2024. – Т. 78, № 3. – С. 133–137.

Prudnikov, S. I. *Algoritm avtomatizirovannoy diagnostiki sostoyaniya parashyutista* [Algorithm of automated diagnosis of a parachutist's condition]. *Automation. Modern technologies*, 2024, vol. 78, no. 3, pp. 133-137. (In Russian)

13. Пустовойт, В. И. Особенности изменений некоторых показателей гемодинамики спортсменов-парашютистов в экстремальных условиях / В. И. Пустовойт // Современные вопросы биомедицины. – 2021. – Т. 5. – № 3 (16). – С. 1–15.

Pustovoyt, V. I. *Osobennosti izmeneniy nekotorykh pokazateley gemodinamiki sportsmenov-parashyutistov v ekstremalnykh usloviyakh* [Features of changes in some hemodynamics parameters of athletes-parachutists in extreme conditions]. *Modern issues of Biomedicine*, 2021, vol. 5, no. 3 (16), pp. 1-15. (In Russian)

14. Кукушкин, Ю. А. Методологические и теоретические аспекты создания и развития информационных технологий в авиационной медицине / Ю. А. Кукушкин, А. В. Богомолов, И. Н. Терентьев, А. А. Долгов // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2018). – Белгород, 2018. – С. 95–98.

Kukushkin, Yu. A., Bogomolov, A. V., Terentyev, I. N., Dolgov, A. A. *Metodologicheskie i teoreticheskie aspekty sozdaniya i razvitiya informatsionnykh tekhnologiy v aviatsionnoy meditsine* [Methodological and theoretical aspects of creation and development of information technologies in aviation medicine]. *Information technologies in Science, Education and Production (ITNOP-2018)*. Belgorod, 2018, pp. 95-98. (In Russian)

15. Ушаков, И. Б. Автоматизированные системы для контроля состояния специалистов опасных профессий / И. Б. Ушаков, В. А. Пономаренко, Ю. А. Кукушкин, А. В. Богомолов // Безопасность жизнедеятельности. – 2005. – № 10 (приложение). – 32 с.

Ushakov, I. B., Ponomarenko, V. A., Kukushkin, Yu. A., Bogomolov, A. V. *Avtomatizirovannye sistemy dlya kontrolya sostoyaniya spetsialistov opasnykh professiy* [Automated systems for monitoring the condition of hazardous professions specialists]. *Safety of life activities*, 2005, no. 10 (app.), 32 p. (In Russian)

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В. В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 07.11.2024
Дата опубликования 19.03.2025

Alexander Alexandrovich Matviychuk, Senior Scientific Associate; e-mail: gniivm.m@yandex.ru
JSC «Scientific and production enterprise «Topaz»
129626, Moscow, 3rd Mytishchinskaya St., 16. Phone: +7 (495) 909-84-82

ANALYSIS OF PARACHUTE SYSTEMS USED BY PARARESCUES

Objective. System analysis of the parachute systems features used by pararescues to substantiate priority areas for their improvement.

Methods. The study used the methods of source studies (study of historical sources with an emphasis on their involvement in scientific practice), System analysis (induction, deduction and expert analysis), documentation (information analysis), Historiography (historical-comparative method), Analogy (direct, Subjective and symbolic analogy).

Results. Analysis of the parachute systems features for pararescues demonstrated that the needs of ensuring the landing of pararescues are best met by the Stayer parachute systems and their analogues, as well as Tandem type systems, designed to deliver specialists who do not have experience in parachute descents to the emergency zone.

Scientific novelty. The parachute systems characteristics used by Russian pararescues have been systematized, their compliance with practical needs has been analyzed, and they have been compared with similar foreign systems in order to justify improvement priorities.

Practical significance. It is determined that the priorities for improving parachute systems used by pararescues should be the increasing the flight mass without reducing the accuracy parameters during landing, the possibility of use in emergency situations with complex climatic factors, as well as development of new types of payload delivery with less risk to the lives of pararescues.

Keywords: *pararescues; parachute system; safety in emergencies; landing rescuers; parachuting rescuers.*

For citation: Matviychuk A. A. Analysis of parachute systems used by pararescues. *Scientific bulletin of the NII “Respirator”*, 2025, no. 1 (62), pp. 81-90. EDN ZFAVTS

УДК [614.8"363+355.58]

Евгений Вячеславович Иванов, канд. техн. наук, доцент кафедры; e-mail: e.ivanov@amchs.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»
141435, Московская обл., г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, 1А.
Тел.: +7 (982) 104-24-66

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИЩЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

Цель. Повышение эффективности планирования и реализации мероприятий защиты населения за счет обоснования принципов и подходов к построению системы поддержки принятия решений по обеспечению защищенности населения от чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Методы. Системный анализ цикла принятия решений, направленных на обеспечение защищенности населения от чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Результаты. Представлено научно-методическое обоснование объемов инженерно-технических мероприятий защищенности населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций.

Научная новизна. Впервые обоснованы принципы построения системы поддержки принятия решений по обеспечению защищенности населения от чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Практическая значимость. Изложенные в статье принципы являются универсальными и могут быть использованы при создании систем поддержки принятия решений на разных уровнях управления с учетом специфики выполняемых задач.

Ключевые слова: защищенность населения; чрезвычайные ситуации; система поддержки принятия решений; инженерно-технические мероприятия.

Для цитирования: Иванов Е. В. Принципы построения системы поддержки принятия решений по обеспечению защищенности населения от чрезвычайных ситуаций техногенного характера // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 1 (62). – С. 91–97. – EDN UIAEPG

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера является одним из направлений реализуемой государством политики по обеспечению национальной безопасности [1].

Необходимо отметить, что нормативно-правовой и научно-методический аппарат достаточно подробно проработаны в настоящее время и охватывают все аспекты, касающиеся вопросов чрезвычайных ситуаций природного, техногенного, биолого-социального характера.

Однако существующий научно-методический аппарат обоснования мероприятий защиты населения от ЧС базируется на оценке величины риска и только постфактум учитывает состояние защищенности населения. Таким образом, проводится оценка показателей за отчетный период в сравнении с показателями прошлого периода, либо в сравнении с другими субъектами.

Ключевым недостатком указанного подхода является невозможность обоснованного планирования мероприятий защиты населения от чрезвычайных ситуаций [2], поскольку в практике нет показателя, позволяющего оценить текущее состояние защищенности населения от чрезвычайных ситуаций, и на его основе провести обоснованное планирование по выбору и обоснованию перечня и объемов инженерно-технических мероприятий защиты, направленных на приведение данного показателя к максимальному (не ниже заданного) уровню [3].

Необходимо иметь в виду, что, помимо надежного методического обоснования, данный показатель должен соответствовать требованиям к практической реализуемости, т. е. возможности его внедрения в практическую деятельность органов управления.

Цель исследования. Повышение эффективности планирования и реализации мероприятий защиты населения за счет обоснования принципов и подходов к построению системы поддержки принятия решений по обеспечению защищенности населения от чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Результаты исследований. Показатель оценки состояния защищенности населения от чрезвычайных ситуаций должен учитывать:

- величину опасности реализации чрезвычайных ситуаций на рассматриваемой территории;
- прогноз значений параметров поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, характерных для рассматриваемой территории;
- свойства объектов защиты, влияющие на степень разрушения под действием поражающих факторов чрезвычайных ситуаций;
- характеристики систем защиты от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций;
- характеристики систем восстановления [4].

Комплексный подход к проведению оценки защищенности, с точки зрения планирования, позволит реализовать две основополагающие функции:

1. Детализировать реализуемые инженерно-технические мероприятия защиты с их привязкой по изменению конкретных значений параметров системы защиты населения от чрезвычайных ситуаций.
2. Количественно оценить зависимость уровня защищенности населения от реализуемых объемов инженерно-технических мероприятий защиты от чрезвычайных ситуаций [5].

Соответственно может быть решена задача обоснования таких рациональных объемов инженерно-технических мероприятий (ИТМ), которые обеспечат максимальную защищенность населения от ЧС [6], что имеет большое значение для решения задачи обеспечения национальной безопасности страны. Такое обоснование возможно только при создании и обеспечении бесперебойной работы системы поддержки принятия решений, реализующей проработанный математический аппарат.

Система поддержки принятия решений представляет собой комплекс математических и эвристических методов и моделей, объединенных общей методикой формирования альтернатив управленческих решений в организационных системах, определения последствий реализации каждой альтернативы и обоснования выбора наиболее приемлемого управленческого решения [7].

Концептуальный подход к обоснованию объемов ИТМ защищенности населения от поражающих факторов ЧС должен включать научно-методические принципы оценки данного параметра и их практическую реализацию посредством системы поддержки принятия решений (рис.).

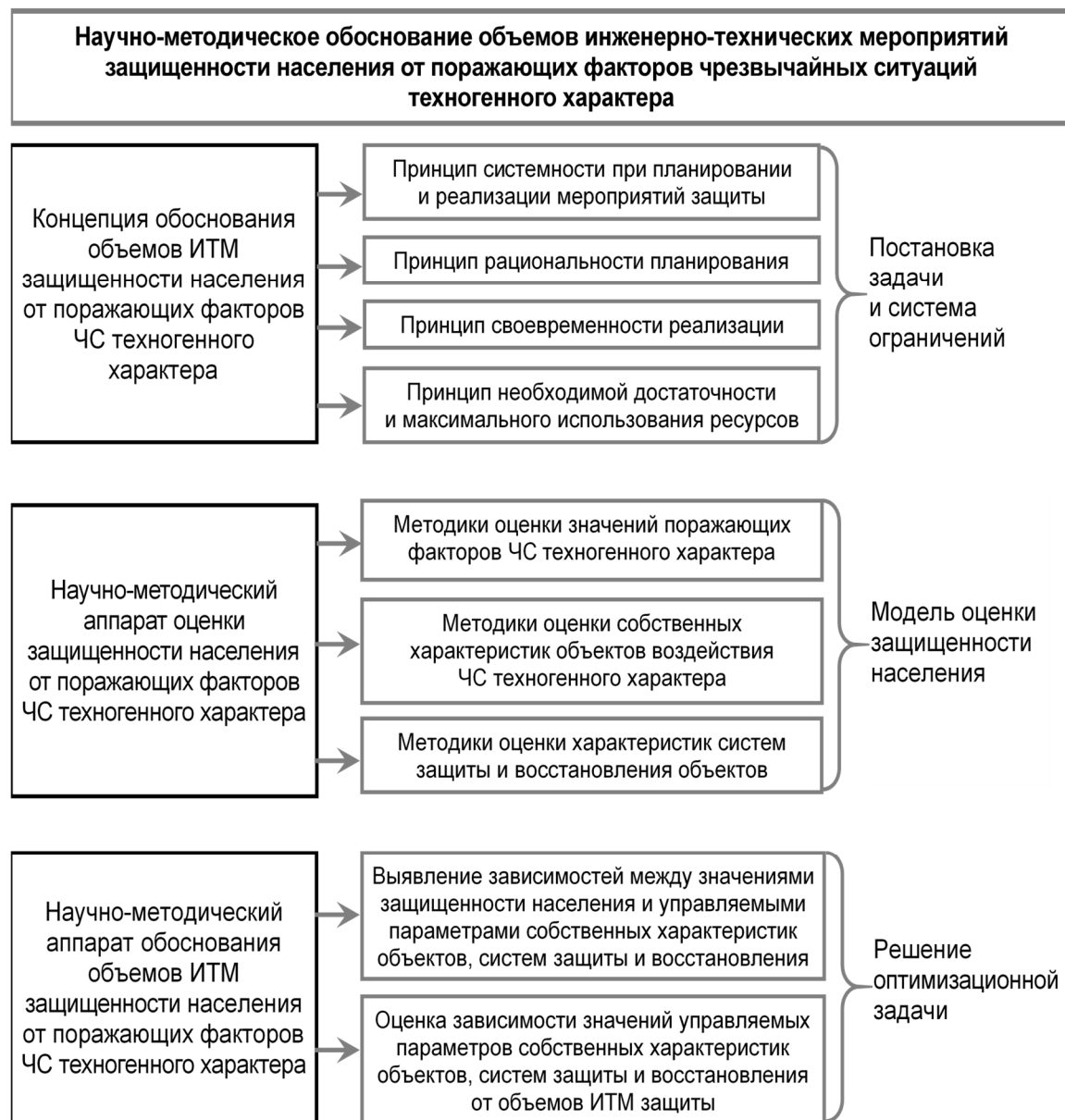


Рис. Блок-схема алгоритма научно-методического обоснования объемов ИТМ защищенности населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций

Представленное научно-методическое обоснование объемов инженерно-технических мероприятий защищенности населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций базируется на ключевых принципах:

1. Принцип системности реализуется в ходе обоснования и выполнения мероприятий защиты населения от поражающих факторов чрезвычайной ситуации:

- паспортизация (планирование);
- мониторинг;

- прогнозирование;
- предупреждение;
- реагирование;
- восстановление.

В контексте обеспечения защищенности последняя функция может не рассматриваться, как избыточная, с точки зрения сложности учета «отдаленных последствий».

Соответственно для каждого из этапов должны предусматриваться свои перечень и объемы инженерно-технических, организационных мероприятий, но в любом случае они должны быть взаимосвязаны по поставленной цели.

2. Принцип своевременности реализации мероприятий защиты. Поскольку вклад ИТМ разный на каждом из этапов решения задачи защиты населения от поражающих факторов чрезвычайной ситуации, система поддержки принятия решений должна учитывать степень вклада реализуемых мероприятий в состояние защищенности населения в контексте динамики развития событий. То есть каждое из мероприятий должно проводиться в определенной последовательности с учетом ограничений на временные ресурсы.

3. Принцип необходимой достаточности и максимально возможного использования ресурсов (имеющихся сил и средств) обуславливает систему ограничений при решении задач планирования рациональных перечня и объемов инженерно-технических мероприятий защищенности населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций.

4. Принцип рациональности во многом соответствует предыдущему принципу, но предусматривает рациональное распределение ресурсов (объемов реализации ИТМ), приводящее к максимуму целевую функцию защищенности населения в условиях накладываемых ограничений.

Указанные принципы позволяют осуществить постановку цели построения системы поддержки принятия решений по обеспечению защищенности населения от чрезвычайных ситуаций техногенного характера, которая заключается в создании условий для решения оптимизационной задачи рационального распределения ограниченных материальных, финансовых, трудовых и временных ресурсов на всех этапах выполнения задачи защиты населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Представленные и раскрытые в статье принципы являются универсальными и могут быть использованы при создании систем поддержки принятия решений на разных уровнях управления с учетом специфики выполняемых задач.

В частности, органами управления, где могут быть внедрены системы поддержки принятия решений, основанных на вышеуказанных принципах, могут стать:

- центры управления в кризисных ситуациях, ситуационные центры федеральных органов исполнительной власти;
- центры управления регионом исполнительных органов субъектов Российской Федерации;
- муниципальные центры управления.

При этом комплексность решения будет определяться как превентивными, так и оперативными мероприятиями защиты населения, что потребует реализации двух взаимосвязанных алгоритмов:

- оценки защищенности населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций техногенного характера;
- обоснования объемов инженерно-технических мероприятий защищенности населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Такой подход должен стать практическим инструментом для принимающих решение лиц и обеспечить устойчивое развитие территорий как в краткосрочной (при проведении оперативных мероприятий реагирования на чрезвычайные ситуации), так и в долгосрочной (при планировании и осуществлении мероприятий предупреждения чрезвычайных ситуаций) перспективе.

Список литературы / References

1. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2023 году». – Москва : ФГБУ «МЧС Медиа», 2024. – 288 с., ил.

Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii zashchity naseleniya i territoriy Rossiyskoy Federatsii ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera v 2023 godu» [State report «On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2023»]. Moscow: Federal State Budgetary Institution «MCHS Media», 2024, 288 p., ill. (In Russian)

2. Постановка задачи обоснования рационального перечня мероприятий в области защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций / А. В. Рыбаков, Е. В. Иванов, В. А. Нестеров, А. А. Глушаченков // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2020. – № 1(44). – С. 66–72.

Rybakov, A. V., Ivanov, E. V., Nesterov, V. A., Glushachenkov, A. A. *Postanovka zadachi obosnovaniya ratsionalnogo perechnya meropriyatiy v oblasti zashchity naseleniya i territorii ot chrezvychaynykh situatsiy* [Setting the task of substantiating a rational list of measures in the field of the population and territory protection from emergency situations]. *Nauchnye i obrazovatelnye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2020, no. 1 (44), pp. 66-72. (In Russian)

3. Арефьева, Е. В. Международные подходы и инициативы в области повышения устойчивости урбанизированных территорий в чрезвычайных ситуациях / Е. В. Арефьева, А. А. Лаврусевич, В. В. Крапухин // Проблемы обеспечения экологической безопасности, мониторинга окружающей среды и прогнозирования чрезвычайных ситуаций : Мат. Всероссийской НПК. – Калуга, Москва : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2024. – С. 15–26.

Arefeva, E. V., Lavrusevich, A. A., Krapukhin, V. V. *Mezhdunarodnye podkhody i initsiativy v oblasti povysheniya ustoychivosti urbanizirovannykh territoriy v chrezvychajnykh situatsiyakh* [International approaches and initiatives in the field of increasing the resilience of urbanized territories in emergency situations]. *Problemy obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti, monitoringa okruzhayushchey sredy i prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy: Mat. All-Russian Scientific and Practical Conference*. – Kaluga, Moscow: Federal State Budgetary Establishment «All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defence and Emergencies of the EMERCOM of Russia» (Federal Science and High Technology Center), 2024, pp. 15-26. (In Russian)

4. Воскобоев, В. Ф. Структура методики выбора защитных мероприятий объекта промышленности с учетом затрат на их реализацию / В. Ф. Воскобоев, Е. В. Иванов, А. В. Рыбаков // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2018. – № 4 (39). – С. 72–80.

Voskoboev, V. F., Ivanov, E. V., Rybakov, A. V. *Struktura metodiki vybora zashchitnykh meropriyatiy obekta promyshlennosti s uchetom zatrat na ikh realizatsiyu* [The structure of the methodology for selecting protective measures for industrial facility, taking into account the costs of their implementation]. *Nauchnye i obrazovatelnye problemy grazhdanskoй zashchity*, 2018, no. 4 (39), pp. 72-80. (In Russian)

5. Ханхунов, Ю. М. Устойчивость объектов экономики и территорий в чрезвычайных ситуациях : учеб. пособие / Ю. М. Ханхунов. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2018. – 88 с.

Hanhunov, YU. M. *Ustoychivost obektov ekonomiki i territoriy v chrezvychaynykh situatsiyakh* [Sustainability of economic facilities and territories in emergency situations]. Ulan-Ude: Publishing House of ESSUTM, 2018, 88 p. (In Russian)

6. Подход к решению задачи формирования рационального плана мероприятий защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций в субъекте Российской Федерации / А. В. Рыбаков, Е. В. Иванов, В. А. Нестеров, Л. Е. Иванова // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Научный и практический подходы к развитию и реализации технологий безопасности : сб. тезисов по мат. XVII МНПК. – Воронеж : ВГТУ, 2021. – С. 34–36.

Rybakov, A. V., Ivanov, E. V., Nesterov, V. A., Ivanova, L. E. *Podkhod k resheniyu zadachi formirovaniya ratsionalnogo plana meropriyatiy zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy v subekte Rossiyskoy Federatsii* [Approach for solving the problem of forming a rational plan of measures to protect the population and territories from emergency situations in a constituent entity of the Russian Federation]. *Kompleksnye problemy tekhnosfernoy bezopasnosti. Nauchnyy i prakticheskiy podkhody k razvitiyu i realizatsii tekhnologiy bezopasnosti: sb. tezisov po mat. XVII MNPK*. Voronezh: VGTU, 2021, pp. 34-36. (In Russian)

7. Прокопенко, Н. Ю. Системы поддержки принятия решений : учеб. пособие / Н. Ю. Прокопенко; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2017. – 188 с.

Prokopenko, N. Yu. *Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy* [Decision support systems: textbook]. Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2017, 188 p. (In Russian)

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

Дата поступления рукописи 05.02.2025

Дата опубликования 19.03.2025

Yevgeny Vyacheslavovich Ivanov, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor; e-mail: e.ivanov@amchs.ru
Federal State Budget Military Educational Institution of Higher Education
«The Civil Defence Academy of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence,
Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»
141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya st., 1A. Phone: +7 (982) 104-24-66

PRINCIPLES OF BUILDING A DECISION SUPPORT SYSTEM TO ENSURE THE PROTECTION OF THE POPULATION FROM MAN-MADE EMERGENCIES

Objective. Improving the efficiency of planning and implementing measures to protect the population by substantiating principles and approaches to building a decision support system to ensure the protection of the population from man-made emergencies.

Methods. Systematic analysis of the decision-making cycle aimed at ensuring the protection of the population from man-made emergencies.

Results. Scientific and methodological foundations for substantiating the scope of engineering and technical measures to protect the population from the damaging factors of emergency situations have been presented.

Scientific novelty. For the first time, the principles of building a decision support system to ensure the population protection from man-made emergencies have been substantiated.

Practical significance. The principles outlined in the article are universal and can be used to create decision support systems at different levels of management, taking into account the specifics of the tasks performed.

Key words: *population safety; emergency situations; decision support system; engineering and technical measures.*

For citation: Ivanov E. V. Principles of building a decision support system to ensure the protection of the population from man-made emergencies. *Scientific bulletin of the NII "Respirator"*, 2025, no. 1 (62), pp. 91-97. EDN UIAEPG

УДК 614.8"363:556.532.2

Олег Григорьевич Кушнир, ст. науч. сотр.; e-mail: gniiivm-k@ya.ru

АО «Научно-производственное предприятие «Топаз»

129626, Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 16. Тел.: +7 (495) 909-84-82

ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРСПЕКТИВНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕННО ВАЖНЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ НАВОДНЕНИЙ

Цель. Обоснование требований к перспективным техническим средствам обеспечения жизненно важных потребностей населения при ликвидации последствий наводнений.

Методы. При проведении исследования применялись методы источниковедения (изучение исторических источников с акцентом на их вовлечение в научную практику), системного анализа (индукция, дедукция, экспертный анализ), документоведения (информационный анализ), историографии (историко-сравнительный метод), аналогирования (прямая, субъективная и символическая аналогия).

Результаты. Сформулированы общие требования к перспективным техническим средствам обеспечения жизненно важных потребностей населения при ликвидации последствий наводнений: функционирование в составе единой системы обеспечения ликвидации наводнения, обладать положительной плавучестью, иметь встроенную метку радиочастотной идентификации и/или датчик пространственных координат, реализовывать технологию киберфизических систем и обладать интеллектуальностью.

Научная новизна. Проведен совместный анализ опыта обеспечения ликвидации последствий наводнений и уровня научно-технического прогресса, позволившие сформулировать требования к перспективным техническим средствам обеспечения жизненно важных потребностей населения при ликвидации последствий наводнений.

Практическая значимость. Перспективные технические средства обеспечения жизненно важных потребностей населения при ликвидации последствий наводнений, реализованные в соответствии со сформулированными требованиями, обеспечат повышение эффективности ведения поисково-спасательных работ.

Ключевые слова: ликвидация последствий наводнений; жизнеобеспечение населения; безопасность в чрезвычайных ситуациях; робототехническое средство спасания; робототехническое средство жизнеобеспечения населения.

Для цитирования: Кушнир О. Г. Требования к перспективным техническим средствам обеспечения жизненно важных потребностей населения при ликвидации последствий наводнений // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – № 1 (62). – С. 98–103. – EDN UHVHSM

Постановка проблемы. Среди происходящих на территории России стихийных бедствий первое место по повторяемости, площади распространения и суммарному среднегодовому материальному ущербу занимают наводнения – затопления территории водой в результате подъема уровня воды во время половодья или паводка, при заторе, зажоре, вследствие нагона в устье реки, а также при прорыве гидротехнических сооружений [1]. По статистике ЮНЕСКО, только от речных наводнений за последние 20 лет погибло около 200 тысяч человек (без учета жертв наводнений, вызванных тропическими циклонами). Вторичный ущерб от наводнений еще более значителен – болезни и голод, экологические проблемы [1].

В России площадь паводкоопасных территорий составляет 400 тыс. км², ежегодно подвергается затоплению около 50 тыс. км² территорий [2]. Наводнениям

с катастрофическими последствиями подвержена территория в 150 тыс. км², на которой расположено около 300 городов, десятки тысяч населенных пунктов, большое количество хозяйственных объектов, более 7 млн га сельскохозяйственных угодий [1–4].

Обострение проблемы наводнений в России также связано с прогрессирующим старением основных фондов водного хозяйства вследствие постоянного уменьшения объемов капиталовложений в водную отрасль [5]. Дополнительными факторами риска наводнений стало изменение характера стока на хозяйственно освоенных и подвергнутых трансформациям водосборных территориях, хозяйственное освоение паводкоопасных территорий в нижних бьефах гидроузлов и размещение там хозяйственных объектов и жилья, а также стеснение жилого сечения потока рек [6–9].

Высокие риски наводнений обуславливают необходимость совершенствования технических средств обеспечения жизненно важных потребностей населения, оказавшегося в зоне наводнений [10–12]. Анализ номенклатуры таких средств показал, что они не в полной мере соответствуют достижениям научно-технического прогресса, что фактически проявляется отсутствием штатных роботизированных средств обеспечения жизненно важных потребностей населения, оказавшегося в зоне наводнений [1, 2, 11].

Цель исследования. Обоснование требований к перспективным техническим средствам обеспечения жизненно важных потребностей населения при ликвидации последствий наводнений.

Материалы и методы исследования. Ликвидация последствий наводнений предполагает реализацию комплекса мероприятий, направленных на минимизацию рисков гибели людей, сельскохозяйственных животных и растений, материального ущерба при наводнении [11]. Эти мероприятия проводятся силами подразделений гражданской обороны и поисково-спасательных отрядов, и включают поиск, оказание помощи и спасание людей, оказавшихся в зоне затопления, в возможно короткие сроки, обеспечивающие их выживание в условиях складывающейся обстановки.

Опыт ликвидации наводнения показывает, что при реализации спасательных операций часть населения отказывается от эвакуации ввиду опасения за сохранность имущества или из-за необходимости сохранения домашних животных, эвакуация которых невозможна. Кроме того, невозможность одновременной эвакуации населения с затопленных территорий обуславливает необходимость нахождения части населения, при отсутствии угроз их жизни, на затопленных территориях в течение нескольких дней или недель.

Эти обстоятельства обуславливают необходимость реализации мер по жизнеобеспечению населения в зоне наводнения, включающих совокупность взаимосвязанных по времени, ресурсам и месту проведения мероприятий, направленных на создание и поддержание условий, минимально необходимых для сохранения жизни и поддержания здоровья людей в зоне наводнения. Перечень конкретных мероприятий жизнеобеспечения определяется характером и масштабом наводнения, временем года, климатогеографическими условиями и другими факторами.

В первую очередь осуществляется обеспечение населения водой, продуктами питания, предметами первой необходимости, а также средствами профилактики заболеваний, обусловленных наводнениями.

Кроме того, при ликвидации последствий наводнений, когда высокая скорость водного потока обуславливает быстрый приход воды, и население не может быть эвакуировано в безопасный район, применяют размещение людей на незатапливаемых частях неразрушаемых сооружений (участках местности).

Для реализации мероприятий по жизнеобеспечению населения в зоне наводнения применяют технические средства аварийно-спасательных работ – средства механизации, вспомогательные и другие специальные средства, используемые силами ликвидации последствий наводнений. Проведенный анализ показал, что в составе таких технических средств используют:

- поисковые вертолеты, скоростные катера, глиссеры, беспилотные летательные аппараты и другие средства разведки обстановки;
- спасательные плавательные средства для эвакуации населения;
- спасательные средства – изолирующие противогазы, акваланги, спасательные жилеты, пробковые пояса, термические грелки, индивидуальные аптечки и другие средства оказания первой помощи пострадавшим на воде и от переохлаждения.

При этом средства обеспечения жизненно важных потребностей населения в зонах наводнения остаются недостаточно технологичными и функциональными для реализации жизненно важных потребностей населения в условиях ликвидации последствий наводнения.

Результаты исследования. Анализ потребностей практики обеспечения жизненно важных потребностей населения в зонах наводнения показал, что применяемые технические средства должны обеспечивать реально возникшие потребности населения в воде, пищевых продуктах, предметах первой необходимости, жилье (включая временное жилье), медицинских услугах, коммунально-бытовых услугах (топливо, тепло- и энергоисточники, средства обогрева, бани, душевые, прачечные, туалеты и др.), транспорте, информационном обеспечении.

Опыт ликвидации последствий наводнений и уровень научно-технического прогресса показывают, что перспективные технические средства обеспечения жизненно важных потребностей населения при ликвидации последствий наводнений должны удовлетворять следующим требованиям:

- Функционирование в составе единой системы обеспечения ликвидации наводнения, что подразумевает единую систему навигации и управления маршрутами движения транспортных средств и охват максимально большой площади наводнения имеющимся парком технических средств за счет исключения дублирования маршрутов движения; единая автоматизированная система учета раненых и пострадавших, находящихся в зоне наводнения, путем их биометрической идентификации и централизации сбора информации с ее динамическим обновлением, в том числе из разных источников.
- Амфибийность или, по крайней мере, положительная плавучесть в интересах минимизации риска утраты технического средства (в том числе при неисправности).

– Наличие встроенной неизвлекаемой активной или пассивной метки радиочастотной идентификации (RFID-метка) и/или датчика пространственных координат (GPS-датчик) для возможности мониторинга текущего положения и поиска при потере.

– Использование технологии киберфизических систем, предполагающей, что применяемые датчики, оборудование и информационные системы соединены и взаимодействуют друг с другом с помощью стандартных интернет-протоколов, обеспечивающих функционал прогнозирования, самонастройки и адаптации к изменениям.

– Интеллектуальность, обеспечивающая восприятие окружающей среды, использование обучения и интеллекта для выполнения действий, которые максимально увеличивают эффективность достижения решения поставленных задач – например, автоматический мониторинг состояния окружающей среды, оптимальные траектории движения, распознавание раненых, пораженных и пострадавших, ведение с ними диалога по определению объемов необходимой помощи с занесением результатов в специальную базу данных.

Таким образом, перспективные технические средства обеспечения жизненно важных потребностей населения при ликвидации последствий наводнений, реализованные в соответствии со сформулированными требованиями, обеспечат повышение эффективности поисково-спасательных работ. Разработка таких технических средств – приоритетная задача ближайшего будущего.

Выводы. Анализ опыта обеспечения ликвидации последствий наводнений и уровень научно-технического прогресса позволил сформулировать общие требования к перспективным техническим средствам обеспечения жизненно важных потребностей населения при ликвидации последствий наводнений: функционирование в составе единой системы обеспечения ликвидации наводнения; положительная плавучесть; наличие встроенной метки радиочастотной идентификации и/или датчика пространственных координат; реализация технологии киберфизических систем; интеллектуальность.

Список литературы / References

1. Воробьев, В. Л. Катастрофические наводнения XXI века: уроки и выводы / В. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. – М. : Декс-Пресс, 2003. – 352 с.

Vorobyov, V. L., Akimov, V. A., Sokolov, Yu. I. *Katastroficheskiye navodneniya XXI veka: uroki i vyvody* [Catastrophic floods of the 21st century: lessons and conclusions]. Moscow: Dex-Press, 2003. 352 p. (In Russian)

2. Разумов, В. В. Масштабы и опасность наводнений в регионах России / В. В. Разумов, С. А. Качанов, Н. В. Разумова. – М. : ВНИИ ГО и ЧС МЧС России, 2018. – 364 с.

Razumov, V. V., Kachanov, S. A., Razumova, N. V. *Masshtaby i opasnost navodneniy v regionakh Rossii* [Scale and danger of floods in the regions of Russia]. Moscow: All-Russian Research Institute of Civil Defense and Emergencies of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2018. 364 p. (In Russian)

3. Тугай, В. В. Классификация наводнений по причинам возникновения и масштабу / В. В. Тугай, Н. В. Банник, А. В. Джумский // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2023. – № 10 (76). – С. 138–143.

Tugay, V. V., Bannik, N. V., Dzhumsky, A. V. *Klassifikatsiya navodneniy po prichinam vozniknoveniya i masshtabu* [Classification of floods by causes of occurrence and scale]. *Bulletin of Vladimir Dahl Lugansk State University*, 2023, no. 10 (76), pp. 138-143. (In Russian)

4. Иванов, Е. В. Анализ статистических данных по чрезвычайным ситуациям на территории Российской Федерации в 2019–2023 гг. / Е. В. Иванов, А. В. Рыбаков, М. Ф. Баринов, А. В. Кузьмин // Вестник НЦБЖД. – 2024. – № 2 (60). – С. 131–136.

Ivanov, E. V., Rybakov, A. V., Barinov, M. F., Kuzmin, A. V. *Analiz statisticheskikh dannykh po chrezvychaynym situatsiyam na territorii Rossiyskoy Federatsii v 2019-2023 gg* [Analysis of statistical data on emergency situations in the Russian Federation in 2019-2023]. *Bulletin of the Scientific Center for Life Safety*, 2024, no. 2 (60), pp. 131-136. (In Russian)

5. Миртова, И. А. Анализ динамики наводнений по материалам дистанционного зондирования Земли / И. А. Миртова, Т. М. Фатехов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 6. – С. 86–92.

Mirtova, I. A., Fatekhov, T. M. *Analiz dinamiki navodneniy po materialam distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Analysis of flood dynamics based on Earth remote sensing data]. *Scientific journal Izvestiya Vuzov «Geodesy and aerophotosurveying»*, 2014, no. 6, pp. 86-92. (In Russian)

6. Арефьева, Е. В. Особенности прогнозирования природных наводнений в целях снижения риска чрезвычайных ситуаций на примере Краснодарского края / Е. В. Арефьева, М. В. Болгов // Технологии гражданской безопасности. – 2018. – Т. 15. № 4 (58). – С. 40–47.

Arefieva, E. V., Bolgov, M. V. *Osobennosti prognozirovaniya prirodnkh navodneniy v tselyakh snizheniya riska chrezvychaynykh situatsiy na primere Krasnodarskogo kraya* [Features of natural flood forecasting in order to reduce the risk of emergency situations using the example of the Krasnodar Krai]. *Civil Security Technologies*, 2018, vol. 15, no. 4 (58), pp. 40-47. (In Russian)

7. Работкина, О. Е. Наводнения, ликвидация последствий наводнений / О. Е. Работкина, К. О. Мордовенков // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2014. – № 1 (5). – С. 421–425.

Rabotkina, O. E., Mordovenkov, K. O. *Navodneniya, likvidatsiya posledstviy navodneniy* [Floods, liquidation of consequences of floods]. *Modern technologies of ensuring civil defense and liquidation of emergency situations consequences*, 2014, no. 1 (5), p. 421-425. (In Russian)

8. Подрезов, Ю. В. Особенности борьбы с наводнениями в современных условиях / Ю. В. Подрезов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2017. – № 6. – С. 101–107.

Podrezov, Yu. V. *Osobennosti borby s navodneniyami v sovremennykh usloviyakh* [Features of flood control in current conditions]. *Problems of safety and emergencies*, 2017, no. 6, pp. 101-107. (In Russian)

9. Ануфриев, Ф. Е. Наводнения и методы их предупреждения / Ф. Е. Ануфриев, Н. Н. Кривенко // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2016. – № 1–2 (5). – С. 7–8.

Anufriev, F. E., Krivenko, N. N. *Navodneniya i metody ikh preduprezhdeniya* [Floods and methods of their prevention]. *Problems of ensuring safety during liquidation of emergency situations consequences*, 2016, no. 1-2 (5), pp. 7-8. (In Russian)

10. Медведев, В. Р. Техническое оснащение тактического и оперативного этапов медицинской эвакуации / В. Р. Медведев, А. В. Богомолов, Н. В. Мурашев, В. Н. Гамалий, В. А. Сидоров // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2011. – № 4. – С. 95–103.

Medvedev, V. R., Bogomolov, A. V., Murashev, N. V., Gamaliy, V. N., Sidorov, V. A. *Tekhnicheskoye osnashcheniye takticheskogo i operativnogo etapov meditsinskoy evakuatsii* [Technical equipment of tactical and operational stages of medical evacuation]. *Defense complex – to Scientific and Technical progress of Russia*, 2011, no. 4, pp. 95-103. (In Russian)

11. Одинцов, Л. Г. Технология и организация проведения поисково-спасательных работ при наводнениях и затоплениях / Л. Г. Одинцов, Э. И. Мажуховский // Технологии гражданской безопасности. – 2003. – № 1–2. – С. 69–72.

Odintsov, L. G., Mazhukhovskiy, E. I. *Tekhnologiya i organizatsiya provedeniya poiskovo-spasatelnykh rabot pri navodneniyakh i zatopleniyakh* [Technology and organization of search and rescue operations during floods and inundations]. *Civil safety technologies*, 2003, no. 1-2, pp. 69-72. (In Russian)

12. Медведев, В. Р. Приоритетные направления развития технического оснащения военно-медицинской службы / В. Р. Медведев, А. В. Богомолов, Н. В. Мурашев // Двойные технологии. – 2012. – № 4 (61). – С. 43–47.

Medvedev, V. R., Bogomolov, A. V., Murashev, N. V. *Prioritetnyye napravleniya razvitiya tekhnicheskogo osnashcheniya voyenno-meditsinskoy sluzhby* [Priority areas for the technical equipment development for the military medical service]. *Dual technologies*, 2012, no. 4 (61), pp. 43-47. (In Russian)

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук П. Е. Мухиным

Дата поступления рукописи 07.02.2025

Дата опубликования 19.03.2025

Oleg Grigorievich Kushnir, Senior Research Officer; e-mail: gniiivm-k@ya.ru

JSC «Scientific Production Enterprise «Topaz»

129626, Moscow, 3rd Mytishchinskaya St., 16. Phone: +7 (495) 909-84-82

REQUIREMENTS TO PROMISING TECHNICAL MEANS OF PROVIDING VITAL NEEDS OF THE POPULATION DURING LIQUIDATION OF FLOODS CONSEQUENCES

Objective. Justification of requirements for promising technical means of ensuring vital needs of the population during liquidation of floods consequences.

Methods. During the study the methods of Source studies (study of historical sources with emphasis on their involvement in scientific practice), Systems analysis (induction, deduction, expert analysis), documentation (information analysis), Historiography (historical-comparative method), Analogy (direct, subjective and symbolic analogy) have been used.

Results. The general requirements for promising technical means of meeting the vital needs of the population during flood liquidation have been formulated: functioning as part of a single flood liquidation system, possessing positive buoyancy, having a built-in radio frequency identification tag and/or a spatial coordinate sensor, implementing the technology of cyber-physical systems and possessing intelligence.

Scientific novelty. A joint analysis of the experience of flood liquidation and the level of Scientific and Technological progress has been carried out, which made it possible to formulate requirements for promising technical means of meeting the vital needs of the population during flood liquidation.

Practical significance. It is obvious that promising technical means of meeting the vital needs of the population during flood liquidation, implemented in accordance with the formulated requirements, will ensure increased efficiency of search and rescue operations by improving the quality of meeting the vital needs of the population.

Keywords: flood liquidation; life support of the population; safety in emergency situations; robotic rescue tool; robotic life support tool of the population.

For citation. Kushnir O. G. Requirements to promising technical means of providing vital needs of the population during liquidation of floods consequences. *Scientific bulletin of the NII «Respirator»*, 2025, no. 1 (62), pp. 98-103. EDN UHVHSM

ИЗДАНИЯ ФГКУ «НИИ «РЕСПИРАТОР» МЧС РОССИИ»

Кириян, А. П. Научные основы защиты горнорабочих и спасателей при эрготермических нагрузках: монография / А. П. Кириян. – Донецк: НИИ «Респиратор» МЧС России; Донецк: ИП Криничная И. В., 2024. – 306 с.

ISBN: 978-5-6052996-3-9



Представлен анализ состояния проблемы защиты горнорабочих, спасателей ВГСЧ и МЧС. Отмечены экстремальные (эрготермические) условия работы на некоторых угольных шахтах и при ликвидации аварий, возникающих в результате пожаров и взрывов, которые приводят к потере здоровья, жизни, большим материальным затратам. Основная часть посвящена обоснованию параметров и созданию нового аккумулятора холода АХ-7, куртки горнорабочего для защиты от повышенных температур воздуха окружающей среды и запыленности, костюмов от высоких температур и химического загрязнения при тушении пожаров в горных выработках и на химических предприятиях, а также информационно-обучающей системы, методов и средств подготовки спасателей к ведению работ при эрготермических нагрузках.

Монография предназначена для научных сотрудников научно-исследовательских организаций, специалистов в области пожарной безопасности, а также аспирантов и студентов горных факультетов технических вузов.

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



Описаны природа и механизм развития процессов самонагрева угля и других органических материалов, методы профилактики эндогенных пожаров. Проведен анализ существующих методов и математических моделей определения самовозгорания материалов органического происхождения. Разработаны математические модели самонагрева веществ с учетом их влажности переменной реакционной поверхности и очагового характера процесса. Даны методы контроля за признаками самовозгорания, оценка склонности веществ к самовозгоранию, требования к средствам изоляции и изолирующим сооружениям.

Монография предназначена для инженерно-технического персонала научно-исследовательских, проектных, конструкторских организаций, работников промышленности и сотрудников органов надзора и контроля за безопасностью производства.

Агеев, В. Г. Эндогенная пожароопасность на различных этапах становления шахт Донбасса: монография / В. Г. Агеев, П. С. Пашковский, С. П. Греков. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2018. – 148 с.

ISSN: 2227-8397



Выполнен ретроспективный анализ становления угольной промышленности Донецкого края, в том числе общей аварийности и состояния эндогенной пожароопасности. Отражены периоды зарождения, расцвета, спада, обвала, стагнации добычи угля и связанным с этим количеством аварий и эндогенных пожаров. Показана роль разработок НИИ «Респиратор» в проблемах изучения природы самовозгорания углей, оценке степени склонности углей Донбасса к самовозгоранию, контроле за развитием процесса самовозгорания, прогнозе самовозгорания углей в конкретных горно-геологических условиях, документов и материалов, регламентирующих горные работы на пластах угля, склонных к самовозгоранию. Монография предназначена для горноспасателей, инженерно-технических работников шахт, проектных и научно-исследовательских организаций, студентов технических вузов.

Мамаев, В. В. Оценка пожарной опасности угольных шахт / В. В. Мамаев. – Донецк: ФЛП Панов А.Н., 2017. – 282 с.

ISBN: 978-617-7474-95-0



В монографии приведены результаты исследований пожарной опасности материалов и изделий, технологического оборудования и подземных объектов угольных шахт. Предложены методы количественной оценки с учетом специфики их эксплуатации и возможности возникновения подземного пожара. Полученные результаты позволяют в целом повысить уровень пожарной безопасности угольных шахт. Издание предназначено для специалистов в области пожарной безопасности, инженерно-технических работников шахт, научно-исследовательских организаций, студентов технических вузов.

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 (от 5 до 15 источников) приводят в порядке упоминания в тексте; обозначают цифрами в квадратных скобках. Порядок изложения элементов библиографического описания на русском языке определен требованиями ГОСТ Р 7.0.100-2018. Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее половины современных (не старше 10 лет) статей из различных изданий. Самоцитирование допускается в объеме не более 20 % источников.

Не следует включать в список литературы нормативные документы, ГОСТы, патенты – ссылки на них должны быть даны 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 на публикацию.

Авторские рукописи, принятые к публикации, автору не возвращаются.

Небрежно оформленные авторские рукописи, или рукописи, которые не соответствуют вышеизложенным требованиям, не рассматриваются.

Научный вестник НИИ «Респиратор»

2025, № 1 (62)

На русском и английском языках

Ответственный редактор Л. В. Барзий

Редактор О. К. Межова

Учредитель и издатель

*Федеральное государственное казенное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС России»*

**Поступившие в редакцию авторские рукописи проходят
рецензирование**

**Ответственность за использование сведений, не подлежащих
открытой публикации, несут авторы опубликованных материалов**

Подписано к выходу в свет 19.03.2025.
Дата размещения на сайте 25.03.2025.

Объем 8,13 Mb

Адрес редакции и издателя: ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России»
ул. Артема, 157, Донецк, 283048 Телефоны: +7 (856) 332-78-01; 332-78-60
e-mail: respirator@80mchs.gov.ru
URL: <http://respirator.dnmchs.ru>