

ISSN 1998-8990

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
**ПРОБЛЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ
В ТЕХНОСФЕРЕ**
PROBLEMS OF TECHNOSPHERE RISK MANAGEMENT
№ 4 (64)–2022

Редакционный совет

Ложкин В.Н.
Председатель

д.т.н., проф., засл. деятель науки Рос. Федерации,
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия

Ложкина О.В.
Заместитель председателя

д.т.н., к.х.н., проф., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС
России, Санкт-Петербург, Россия

Шарипханов С.Д.

д.т.н., ассоциированный проф. (доц.), Академия гражданской защиты
им. М. Габдуллина Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Казахстан, г. Кокшетау, Республика Казахстан

Актерский Ю.Е.

д.в.н., проф., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия

Терехин С.Н.

д.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия

Малыгин И.Г.

д.т.н., проф., Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

Евтюков С.С.

д.т.н., доц., Санкт-Петербургский архитектурно-строительный
университет, Санкт-Петербург, Россия

Калач А.В.

д.х.н., проф., Воронежский институт федеральной службы исполнения
наказаний России, Воронеж, Россия

Рудаков О.Б.

д.х.н., проф., Воронежский государственный технический
университет, Воронеж, Россия

Локтев А.А.

д.ф.-м.н., проф., Российский университет транспорта,
Санкт-Петербург, Россия

Сафарзода Б.А.

д.ю.н., проф., Совет Межпарламентской Ассамблеи – полномочный
представитель Маджлиси Оли Республики Таджикистан в МПА СНГ
и ПА ОДКБ, Республика Таджикистан

Макаров О.С.

д.ю.н., доц., Белорусский институт стратегических исследований,
г. Минск, Республика Беларусь

Ковалева Н.В.

д.ю.н., доц., Департамент международного и публичного права
Финансового университета при Правительстве Российской Федерации,
Москва, Россия

Медведева А.А.	д.ю.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Агаев Гююлоглан Али оглы	д.ю.н., проф., Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия
Антонов А.А.	д.ю.н., доц., Санкт-Петербургский университет МВД России, Санкт-Петербург, Россия
Готчина Л.В.	д.ю.н., к.с.н., Санкт-Петербургская академия Следственного комитета Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
Винокуров В.А.	д.ю.н., доц., засл. юрист Рос. Федерации, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Ишеков К.А.	д.ю.н., доц., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
Хлебущкин А.Г.	д.ю.н., доц., Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Россия
Мрачкова Ева	д.т.н., Технический университет, г. Зволен, Республика Словакия
Мухаммед Халил Абузалата	проф., Университет прикладных наук Аль-Балка; Арабский университетский технологический колледж, Иордания
Медведева Л.В. <i>Секретарь</i>	д.п.н., проф., засл. работник высш. шк. Рос. Федерации, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Редакционная коллегия

Онов В.А. <i>Председатель</i>	к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Турсенев С.А.	к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Моторыгин Ю.Д.	д.т.н., проф., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Горбунов А.А.	к.в.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Королева Л.А.	д.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Фомин А.В.	к.т.н., проф., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Шидловский Г.Л.	к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Сытдыков М.Р. <i>Секретарь</i>	к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия



Editorial council

- Lozhkin V.N.**
Chairman
DSc, prof., honored scientist of the Russian Federation, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
- Lozhkina O.V.**
Deputy chairman
DSc, PhD, prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
- Sharipkhanov S.D.**
DSc, associate prof., M. Gabdullin academy of civil protection of EMERCOM of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Republic of Kazakhstan
- Akterskiy Yu.E.**
DSc, prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
- Terekhin S.N.**
DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
- Malygin I.G.**
DSc, prof., N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia
- Evyukov S.S.**
DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of architecture and civil engineering, Saint-Petersburg, Russia
- Kalach A.V.**
DSc, prof., Voronezh institute of the federal penitentiary service of Russia, Voronezh, Russia
- Rudakov O.B.**
DSc, prof., Voronezh state technical university, Voronezh, Russia
- Loktev A.A.**
DSc, prof., Russian university of transport, Saint-Petersburg, Russia
- Safarzoda B.A.**
DSc, prof., Council of the Inter-Parliamentary Assembly – plenipotentiary representative of the Majlisi Oli of the Republic of Tajikistan in the IPA CIS and PA CSTO, Republic of Tajikistan
- Makarov O.S.**
DSc, associate prof., Belarusian institute of strategic studies, Minsk, Republic of Belarus
- Kovaleva N.V.**
DSc, associate prof., Department of international and public law of the financial university under the government of the Russian Federation, Moscow, Russia
- Medvedeva A.A.**
DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
- Agayev Guloglan Ali ogly**
DSc, prof., Saint-Petersburg State university of aerospace instrumentation, Saint-Petersburg, Russia
- Antonov A.A.**
DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of the Ministry of internal affairs of Russia, Saint-Petersburg, Russia
- Gotchina L.V.**
DSc, PhD, prof., Saint-Petersburg academy of the investigative committee of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia
- Vinokurov V.A.**
DSc, associate prof., honored lawyer of the Russian Federation, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
- Ishekov K.A.**
DSc, associate prof., Lomonosov Moscow state university, Moscow, Russia
- Khlebushkin A.G.**
DSc, associate prof., Saint-Petersburg state university of economics, Saint-Petersburg, Russia

Mrachkova Eva	DSc, Technical university, Zvolen, Republic of Slovakia
Mohammed Khalil Abuzalata	prof., Al-Balqa university of applied sciences; Arab university college of technology, Jordan
Medvedeva L.V. <i>Secretary</i>	DSc, prof., honored worker of the higher school of the Russian Federation, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Editorial board	
Onov V.A. <i>Chairman</i>	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Tursenev S.A.	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Motorygin Yu.D.	DSc, prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Gorbunov A.A.	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Koroleva L.A.	DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Fomin A.V.	PhD, prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Shidlovskiy G.L.	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Sytdykov M.R. <i>Secretary</i>	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

**Журнал «Проблемы управления рисками в техносфере» включен
 в Научную электронную библиотеку eLibrary.ru.
 Решением ВАК журнал включен в Перечень периодических научных и научно-технических
 изданий, в которых рекомендуется публикация материалов, учитывающихся при защите
 диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.
 Периодичность издания журнала – ежеквартальная**

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Кожевин Д.Ф., Естехин В.Г. Оценка эффективности применения огнетушителей на водном транспорте	8
Андрюшкин А.Ю., Рустамова М.У., Кадочникова Е.Н. Экспериментальная модель влияния параметров сверхзвукового напыления на прочность лакокрасочного покрытия металлических конструкций	21
Королева Л.А., Подмарков В.В., Хайдаров А.Г. Система классификации зон полигонов твердых коммунальных отходов по пожарной опасности	31
Фомин А.В., Хорошев А.А. Особенности риск-ориентированного подхода к планированию контрольных (надзорных) мероприятий в области пожарной безопасности на производственных объектах	40
Лабинский А.Ю. Расчет теплофизических свойств газов, жидкостей и твердых тел	48

СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС

Горячева М.О., Актерский Ю.Е., Минкин Д.Ю. Анализ проблемы снижения пожарного риска на объектах водородной энергетики и нефтегазового комплекса	55
Евдокимов В.И., Бобринев Е.В., Кондашов А.А., Удавцова Е.Ю. Региональные риски производственного травматизма и гибели личного состава оперативных подразделений МЧС России (2012–2021 гг.)	62
Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н. О научно-технической стратегии улучшения экологических характеристик пожарных автомобилей на современном этапе	73
Седнев В.А., Седнев Ан.В. Научно-методические подходы обоснования потребности автономного полевого лагеря в основных видах жизнеобеспечения	80
Цховребов Э.С., Слесарев М.Ю. Нечеткие показатели безопасного состояния потенциально опасных техносферных объектов и территорий	93
Рева Ю.В. Электрохимическая протекторная защита активных частей электрических машин открытого исполнения для судов ледового класса	104
Ложкина О.В., Орловцев С.В., Савинов А.Г. Анализ влияния изменения климата на природные пожары на примере Российской Федерации и ряда зарубежных стран	111
Выговтов А.В., Калач А.В., Баранов А.А. Совершенствование методов оценки пожарных рисков для зданий дошкольных образовательных организаций	122

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

Баринов М.Ф., Мясников Д.В., Шидловский А.Л. К вопросу определения реальных возможностей аварийно-спасательного инструмента на основе его технических характеристик	132
Брусянин Д.В., Новиков В.Р., Бесков М.С. Формирование обобщенного комплексного показателя ручных пожарных стволов, применяемых для тушения пожаров на территории Российской Федерации	139

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА

Винокуров В.А. Правовое сопоставление общей и частичной мобилизации в Российской Федерации	147
--	-----

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Леонтьева М.С. Комплексная методика снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов	155
Заводсков Г.Н. Модель поддержки принятия решений по управлению рисками возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах водного транспорта ...	164
Авторам журнала «Проблемы управления рисками в техносфере».	174

CONTENTS

FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY

- Kozhevnikov D.F., Estekhin V.G.** Evaluation of the efficiency of fire extinguishers use on water transport 8
- Andrushkin A.Yu., Rustamova M.U., Kadochnikova E.N.** Experimental model of the effect of supersonic spraying parameters on the strength of paintwork while ensuring the safety of metal structures 21
- Koroleva L.A., Podmarkov V.V., Khaydarov A.G.** Classification system of solid municipal waste landfill zones by fire hazard 31
- Fomin A.V., Khoroshev A.A.** Features of a risk-based approach to planning control (supervisory) measures in the field of fire safety at production facilities 40
- Labinsky A.Yu.** The problem of calculations the heat-physical properties of the gas, liquids and solid body 48

RISKS REDUCTION AND ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF EMERGENCIES. SAFETY ENSURING AT EMERGENCY SITUATIONS

- Goryacheva M.O., Actersky Yu.E., Minkin D.Yu.** Analysis of the problem of worsening fire risk at hydrogen energy and oil and gas facilities 55
- Evdokimov V.I., Bobrinev E.V., Kondashov A.A., Udavtsova E.Yu.** Regional risks of occupational injuries and death of the personnel of operational units of the EMERCOM of Russia (2012–2021) 62
- Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N.** On the scientific and technical strategy for improving the environmental characteristics of fire vehicles at the present stage 73
- Sednev V.A., Sednev An.V.** Scientific and methodological approaches to substantiate the needs of an autonomous field camp in the main types of life support 80
- Tskhovrebov E.S., Slesarev M.Yu.** Fuzzy indicators of the safe condition of potentially dangerous technosphere objects and territories 93
- Reva Yu.V.** Electrochemical tread protection of active parts of electric machines of open design for ice-class vessels 104
- Lozhkina O.V., Orlovtssev S.V., Savinov A.G.** Analysis of the impact of climate change on wildfires in the Russian Federation and some foreign countries 111
- Vytovtov A.V., Kalach A.V., Baranov A.A.** Improvement of fire risk assessment methods for buildings of preschool educational organizations 122

FIRE-FIGHTING TACTICS, PHYSICO-CHEMICAL PRINCIPLES OF BURNING AND EXTINGUISHING PROCESSES

- Barinov M.F., Myasnikov D.V., Shidlovsky A.L.** To the question of identifying real opportunities emergency rescue tool based on its technical characteristics 132
- Brusyanin D.V., Novikov V.R., Beskov M.S.** Formation of a generalized complex indicator of manual fire barrels used to extinguish fires on the territory of the Russian Federation 139

LEGAL ASPECTS OF HUMAN AND SOCIETY SAFETY PROVISION

- Vinokurov V.A.** Legal comparison of general and partial mobilizations in the Russian Federation 147

WORKS OF YOUNG SCIENTISTS

- Leontyeva M.S.** Integrated methodology for reducing fire risk in railway transportation of dangerous goods 155
- Zavodskov G.N.** Decision support model for risk management and emergency relief at water transport facilities 164

To the authors of the journal «Problems of risk management in the technosphere» 174

Полная или частичная перепечатка, воспроизведение, размножение либо иное использование материалов, опубликованных в журнале «Проблемы управления рисками в техносфере», без письменного разрешения редакции не допускается.
Ответственность за достоверность фактов, изложенных в материалах номера, несут их авторы

ББК 84.7Р

УДК 614.84+614.842.84

Отзывы и пожелания присылать по адресу: 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149. Редакция журнала «Проблемы управления рисками в техносфере»; тел. (812) 645-20-35. E-mail: redakziaotdel@yandex.ru. Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: WWW.IGPS.RU

ISSN 1998-8990

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 614.845.1

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОГNETУШИТЕЛЕЙ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

Кожевин Дмитрий Федорович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.

✉ **Естехин Виталий Геннадьевич.**

Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, г. Владивосток, Россия

✉ *estekhin@inbox.ru*

Аннотация. Проанализированы статистические данные о пожарах, которые происходили как в России, так и в других странах. Основное внимание акцентируется на проблеме возникновения пожаров на морских и речных судах, а также количестве погибших людей на транспорте. Исходя из проведенного анализа, следует, что система обеспечения пожарной безопасности для морского и речного транспорта требует более глубокого изучения. Одной из причин развития пожаров на судах является низкая эффективность первичных средств пожаротушения. Большая часть пожаров на судах происходит в открытых водоемах, и в связи с низкой эффективностью применения первичных средств пожаротушения это приводит к развитию пожара, уничтожению судна и гибели людей. В статье подчеркивается важность необходимости усовершенствования комплексной методики оснащения судов первичными средствами пожаротушения и дальнейшего изучения этого вопроса.

Ключевые слова: статистика пожаров на транспорте, пожары на морских (речных) судах, пожары в море, погибшие при пожарах на транспорте

Для цитирования: Кожевин Д.Ф., Естехин В.Г. Оценка эффективности применения огнетушителей на водном транспорте // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 8–20.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF FIRE EXTINGUISHERS USE ON WATER TRANSPORT

Kozhevin Dmitrii F.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.

✉ **Estekhin Vitalii G.**

Far eastern fire and rescue academy – a branch of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Vladivostok, Russia

✉ *estekhin@inbox.ru*

Abstract. The subject of analysis in the article is the statistical data on fires that occurred both in Russia and in other countries. The main attention is focused on the problem of fires on sea and rivervessels, as well as the number of people killed on transport. Based on this, it follows that the fire safety system for sea and river transport requires a deeper study. One of the causes of fires on ships is the low efficiency of primary fire extinguishing equipment. Most of the fires on ships occur

in open water, and low efficiency of the use of primary fire extinguishing equipment leads to the development of a fire, the destruction of the ship and the death of people.

The article emphasizes the importance of the need to improve the integrated methodology for equipping ships with primary fire extinguishing equipment and further study of this issue.

Keywords: statistics of fires on transport, fires on sea (river) vessels, fires in the sea, killed in fires on transport

For citation: Kozhevin D.F., Estekhin V.G. Evaluation of the efficiency of fire extinguishers use on water transport // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 8–20.

Введение

Транспортные средства, в том числе морские и речные, относятся к объектам защиты, на которые распространяются требования нормативных документов в области пожарной безопасности, действующие в Российской Федерации, в частности ст. 2 ч. 15 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ФЗ № 123-ФЗ) [1].

В соответствии со ст. 5 ФЗ № 123-ФЗ [1] каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности (СОПБ). Эта система в обязательном порядке включает в себя три составляющие:

- систему предотвращения пожара (СПП);
- систему противопожарной защиты (СПЗ);
- комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности (КОТМ).

Но на сегодняшний день определение эффективности СОПБ для транспортных средств вне правового поля Российской Федерации, хотя для объектов капитального строительства механизм определения эффективности СОПБ в Российской Федерации реализуется через расчет величины пожарного риска. Возможность использовать расчетную величину пожарного риска для определения эффективности СОПБ транспорта были оценены в ряде научных работ [2–4], но в этих работах авторы ограничились железнодорожным и автомобильным транспортом.

Анализ эффективности СОПБ судов позволит определять эффективность применения всех технических решений, предусмотренных на кораблях для обеспечения пожарной безопасности. Одним из важнейших факторов, влияющих на пожарную безопасность судов, являются средства тушения, в том числе первичные (огнетушители), так как ликвидация возгорания на кораблях, находящихся в открытых водоемах, реализуется только за счет сил и средств команды. Поэтому оценке эффективности применения огнетушителей на судах и посвящена эта статья.

Методы исследования

В работе применены методы определения величины пожарного риска на производственных объектах на примере грузовых и пассажирских судов. Используются статистические данные о пожарах в Российской Федерации и в иностранных государствах.

Определения величины пожарного риска на производственных объектах на примере грузовых и пассажирских судов

Предусмотренные мероприятия в рамках обеспечения СОПБ, в соответствии с требованиями ст. 5 ФЗ № 123-ФЗ, должны исключать возможность превышения значений допустимого пожарного риска, установленного [1]:

$$Q_d \geq Q_{СОПБ}; \quad (1)$$

$$Q_{СОПБ} = (1 - P_{СОПБ}) = (1 - P_{СПП}) \cdot (1 - P_{СПЗ}) \cdot (1 - P_{КОТМ}),$$

где Q_d – значения допустимого пожарного риска, определяемые по ст. 79 и ст. 93 [1], год⁻¹; $P_{СОПБ}$ – эффективность системы обеспечения пожарной безопасности; $Q_{СОПБ}$ – расчетное значение величины пожарного риска, год⁻¹; $P_{СПП}$ – эффективность системы предотвращения пожара; $P_{СПЗ}$ – эффективность системы противопожарной защиты; $P_{КОТМ}$ – эффективность комплекса организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

Объективным критерием оценки эффективности применения этой системы в целом и ее составляющих в отдельности к соответствующему классу объектов является только статистика о пожарах для этих объектов.

Для эксплуатируемых зданий (сооружений) ГОСТ 12.1.004–91 [5] п. 2.8 допускает вероятность (Q_v) воздействия опасных факторов пожара на людей проверять с использованием статистических данных по формуле:

$$Q_v = \frac{n}{T} \cdot \frac{M_{жс}}{N_0}, \text{ год}^{-1},$$

где n – коэффициент, учитывающий пострадавших людей; T – рассматриваемый период эксплуатации однотипных объектов, год; $M_{жс}$ – число жертв пожара в рассматриваемой группе однотипных объектов за период, чел; N_0 – общее число людей, находящихся в однотипных объектах, чел.

Исходя из вышеизложенного, общая закономерность обеспечения пожарной безопасности объектов защиты выглядит следующим образом:

$$Q_d \geq Q_{СОПБ} \geq Q_v.$$

Определение эффективности каждой из составляющих СОПБ рассмотрены, исходя из заложенной в эти системы цели и их физико-математического смысла.

Система предотвращения пожара

Целью создания СПП (ст. 48 ФЗ № 123-ФЗ [1]) является исключение условий образования горючей среды и (или) исключение условий образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания. Фактически вероятность отказа действия СПП соответствует частоте возникновения пожаров на объектах заданного типа:

$$Q_{СПП} = (1 - P_{СПП}) = Q_n.$$

Частота возникновения пожара на объектах определенного типа в зависимости от площади может быть определена по формуле [6]:

$$Q_n = \frac{N_{пожаров}}{T \cdot N_{зданий}} \cdot S_{пожара\ средняя}^{b-1}, \text{ год}^{-1},$$

где $N_{пожаров}$ – количество пожаров на однотипных объектах, ед.; $N_{зданий}$ – количество объектов в рассматриваемой группе за период, ед.; T – период, год; $S_{пожара\ средняя}$ – средняя площадь однотипных объектов, в которых произошел пожар, м²; b – индивидуальный показатель степени для каждого типа объектов, зависящий от количества пожаров и от площади этих объектов [6].

Система противопожарной защиты

Целью создания СПЗ (ст. 51 ФЗ № 123-ФЗ [1]) является защита людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара (ОФП) и (или) ограничение его последствий, которая реализуется, в том числе, применением первичных средств пожаротушения.

Защита людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и (или) ограничение последствий их воздействия обеспечиваются одним или несколькими из одиннадцати способов, приведенных в ст. 52 ФЗ № 123-ФЗ [1].

Эффективность СПЗ определяется эффективностью ее элементов, причем ряд способов необходимо группировать между собой. Группировка способов и вклад их в общую эффективность СПЗ сведена в табл. 1.

Таблица 1. Группировка способов защиты людей и имущества от воздействия опасных факторов для оценки эффективности СПЗ

№ системы по ст. 52 [1]	Признак группировки	Обозначение	Примечание
1	Эффективность эвакуации и применения объемно-планировочных решений	$P_э$	Принимается по аналогии со зданиями и сооружениями – при обеспечении безопасной эвакуации
2			
5			
6			
3	Эффективность систем противопожарной защиты	$P_{ПЗ}$	Определяется из статистических данных по эффективному применению системы на типовых объектах
4			
10			Для производственных объектов
7			
8			
9	Эффективность первичных средств пожаротушения	$P_{перв}$	Определяется из статистических данных по эффективному применению первичных средств пожаротушения
11	Эффективность деятельности подразделений пожарной охраны	$P_{ФПС}$	Для кораблей находящихся в море принимается равной нулю

С учетом группировки систем общую эффективность СПЗ возможно определить по формуле:

$$P_{СПЗ} = (1 - Q_{СПЗ}) = 1 - \left((1 - P_э) \cdot (1 - P_{ПЗ}) \cdot (1 - P_{перв}) \cdot (1 - P_{ФПС}) \right).$$

Комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности

Численно оценить эффективность КОТМ, который определен в разделе 4 [2], невозможно, так как его вклад является косвенным.

Исходя из вышеизложенного, обобщенная формула для определения эффективности СОПБ объектов защиты будет иметь вид:

$$Q_d \geq (1 - P_{СОПБ}) = Q_n \cdot \left((1 - P_э) \cdot (1 - P_{ПЗ}) \cdot (1 - P_{перв}) \cdot (1 - P_{ФПС}) \right). \quad (2)$$

Величины в формуле (2), а также в табл. 1 определяются исходя из статистических данных о пожарах для различных объектов защиты.

Анализ статистических данных

Статистика о пожарах публикуется ежегодно в зарубежных странах [7–16] и в Российской Федерации [17–20]. Сводные данные о местах возникновения пожаров в различных странах приведены в табл. 2.

Таблица 1. Распределение пожаров по местам возникновения в странах мира с 2015 по 2019 г.

№	Страна	Население, тыс. чел.	Общее число пожаров												
			В зданиях	%	На транспорте	%	В лесах	%	Пал травы	%	Мусора, свалок	%	Другие	%	
1	Австрия	8 917	77 059	58,42	5 240	3,97	4 849	3,68	7 224	5,47	—	—	37 544	28,46	
2	Беларусь	9 399	19 397	82,86	1 429	6,11	1 690	7,22	—	—	—	—	892	3,81	
3	Болгария	7 050	4 325	3,77	9 103	7,93	1 356	1,18	40 588	35,37	20 709	18,05	38 668	33,70	
4	Венгрия	9 778	44 751	48,87	3 886	4,24	—	—	13 026	14,22	7 334	8,01	22 581	24,66	
5	Дания	5 786	13175	33,46	5 043	12,81	567	1,44	5 114	12,98	3 450	8,76	12 031	30,55	
6	Иордания	10 378	15 627	18,65	5 123	6,11	26 350	31,44	21 354	25,48	3 367	4,02	11 982	14,3	
7	Коста-Рика	4 937	1 085	5,56	869	4,45	4 253	21,77	—	—	13 326	68,22	—	—	
8	Латвия	1 950	5 058	12,59	2 331	5,80	2 867	7,14	12 835	31,96	5 190	12,92	11 884	29,59	
9	Литва	2 848	6 195	14,42	4 406	10,26	1 118	2,60	9 655	22,47	9 117	21,22	12 471	29,03	
10	Новая Зеландия	4 748	35 889	25,01	12 521	8,72	7 329	5,11	13 529	9,43	3 340	2,33	70 912	49,41	
11	Польша	38 411	133 892	21,61	37 949	6,12	31 658	5,11	100 448	16,21	84 725	13,67	231 033	37,28	
12	Россия	145 781	600 521	56,45	92 074	8,65	46 537	4,37	139 495	13,11	80 392	7,56	104 861	8,86	
13	Румыния	20 121	8 127	9,75	5 222	6,26	749	0,89	25 274	30,28	8 756	10,48	35 351	42,34	
14	Сингапур	5 612	13 935	72,15	836	4,33	368	1,91	1 846	9,56	180	0,93	2 149	11,12	
15	Словения	2 081	7 853	50,50	1 653	10,63	489	3,14	3 475	22,34	561	3,60	1 518	9,76	
16	США	327 167	2 456 500	37,12	1 041 500	15,74	—	—	1 393 000	21,05	856 000	12,94	870 000	13,15	
17	Украина	42 270	166 810	39,45	20 729	4,90	10 781	2,55	155 490	36,77	56 149	13,28	12 921	3,05	
18	Финляндия	5 483	21 331	43,18	8 873	17,96	4 943	10,01	4 267	8,64	2 844	5,76	7 140	14,45	
19	Франция	66 628	262 549	22,86	272 910	23,76	51 941	4,52	185 551	16,16	—	—	375 600	32,70	
20	Хорватия	4 087	18 128	28,89	4 034	6,43	7 436	11,85	17 040	27,15	10 262	16,35	5 854	9,33	
21	Чешская Республика	10 650	22 958	24,77	10 590	11,43	7 602	8,20	3 459	3,73	23 620	25,48	24 466	26,39	
22	Швеция	10 230	42 346	38,85	20 589	18,89	11 230	10,30	10 609	9,73	9 437	8,66	14 778	13,56	
23	Эстония	1 329	5 691	28,40	1 550	7,74	199	0,99	4 919	24,55	6 261	31,25	1 417	7,07	

Из данных этих годовых отчетов и табл. 2 следует, что значительная часть пожаров происходит на транспорте. В Российской Федерации процент пожаров на транспорте относительно невелик (8,65 %), но абсолютное значение количества пожаров на транспорте составляет 92 тыс. случаев, что выводит Российскую Федерацию на третье место в мире.

Кроме того, Россия занимает первое место в мире по числу погибших при пожарах на транспорте [17–20], мировые статистические данные по этому показателю приведены на рис. 1.

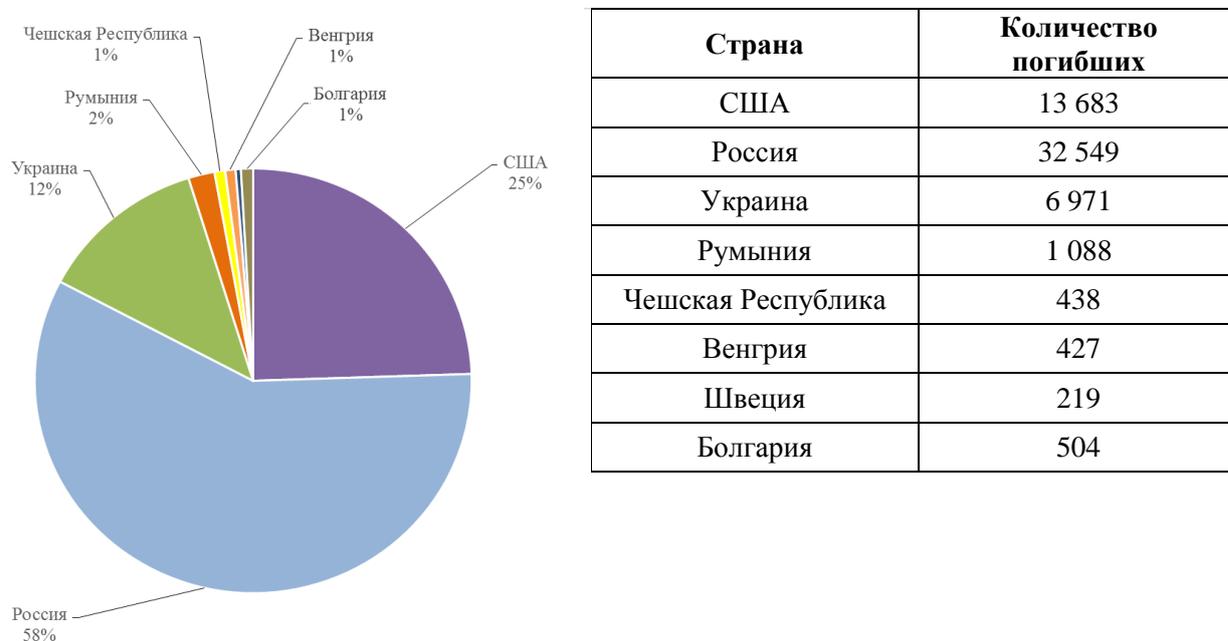


Рис. 1. Количество погибших при пожарах на транспорте в 2015–2019 гг.

Статистика, отражающая долю пожаров на объектах водного транспорта в общем числе пожаров на транспорте и долю погибших при пожарах на водном транспорте в числе погибших при пожарах на транспорте, на текущий момент в открытом доступе отсутствует.

Наибольшее количество жертв при пожарах на транспорте (относительно количества этих пожаров) происходили на морском и речном транспорте [21], из 37 пожаров – 398 погибших и 136 травмированных – и это только на непассажирских судах.

Исходя из вышеизложенного, следует, что система обеспечения пожарной безопасности для морского и речного транспорта требует более глубокой проработки.

Все ведущие промышленные страны мира используют морской способ грузоперевозок как основной [22]. По сравнению с другими видами грузоперевозок, он имеет более низкую себестоимость, обеспечивает перемещение больших партий грузов и является практически незаменимым для отдельных стран в силу их географического положения.

С конца 90-х гг. XX в. в России наблюдается уверенный рост объема перевалки грузов в морских портах: в период с 2001 по 2021 гг. мощность российских морских портов увеличилась более, чем в три раза, до 11 100 млн т. В 2025 г. ожидается дальнейшее увеличение мощностей высокими темпами, а к 2030 г. мощность российских морских портов превысит 1,5 млрд т [23].

Использование внутреннего водного транспорта также является перспективным направлением и имеет большой потенциал, поскольку уже к 2024 г. планируется увеличить транзитную пропускную способность более чем на 14 %, а после 2025 г. – более чем на 35 % [23].

Для этого разработана стратегия развития внутреннего водного транспорта, в ходе которой планируется поднять уровень грузоперевозок за счет реконструкции инфраструктуры каналов и обновления речного флота [23].

Для оценки состояния пожарной безопасности морских и речных судов был проведен анализ статистических данных, из которого следует, что за последние пять лет от пожара пострадало свыше 4 тыс. судов мирового флота. Более четверти из них были уничтожены полностью [24]. Общая статистическая картина аварий [25–30], произошедших в период с 2017 по 2020 г., приведена на рис. 2.

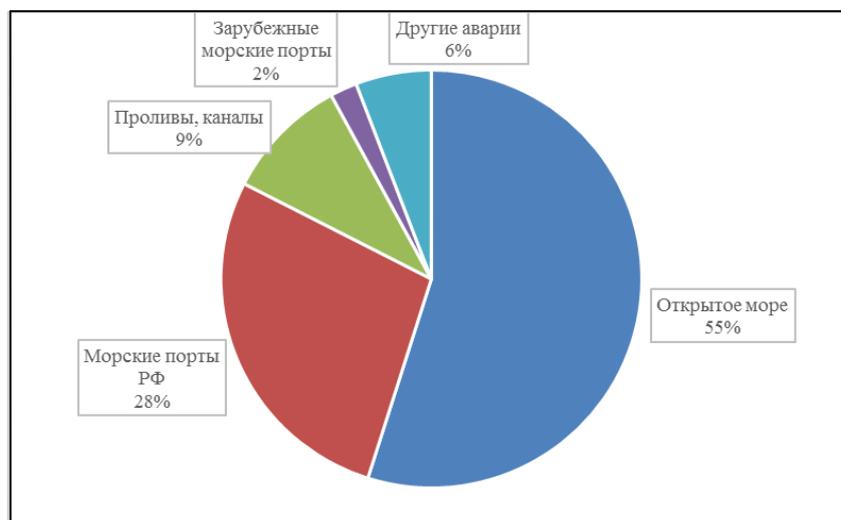


Рис. 2. Статистика аварий на море и внутренних водных путях, произошедших с 2017 по 2020 г.

Первое место занимают аварии, произошедшие в открытом море и составившие 264 случая – 55 % от общего числа аварий за минувшие 5 лет, например, пожар на судне X-Press Pearl в 2021 г., тушение которого проходило в течение 7 сут, в результате судно и 1 486 контейнеров уничтожены огнем полностью (рис. 3).



Рис. 3. Пожар на судне X-Press Pearl

На втором месте по аварийности находятся морские порты Российской Федерации. Это обусловлено выполнением огневых работ при текущем, капитальном ремонте, зачистке танков и нарушением правил пожарной безопасности на судне. В данном случае большинство пожаров ликвидируется подразделениями пожарной охраны МЧС России.

Статистическими данными зафиксировано 133 случая, что составляет 28 % от общего количества аварий [25–30].

Третье место занимают аварии, произошедшие в проливах и каналах, которые представляют такую же угрозу, что и аварии в открытом море.

Из рис. 1 следует, что в 70 % случаев пожар происходит в ситуации, когда суда находятся в автономном плавании (открытое море, каналы и проливы), и помощи при тушении пожара экипажу дожидаться неоткуда. Поэтому ликвидировать пожар на начальной его стадии, применяя первичные средства пожаротушения, является важнейшей задачей экипажа. Из статистических данных следует, что самостоятельно экипажам удалось ликвидировать пожары судовыми средствами только в 7 % инцидентов [30].

Определение эффективности системы обеспечения пожарной безопасности судов

Исходя из существующих статистических данных, по формуле (2) возможно определить ориентировочный уровень эффективности системы обеспечения пожарной безопасности морских и речных судов.

Данные для определения частоты возникновения пожара по формуле (1) в открытом доступе не представлены, поэтому для ориентировочного расчета приняты значения по [31] как для производственных зданий. Средняя площадь определена по различным классам кораблей и составляет 14 100 м²:

$$Q_n = a \cdot S_{\text{пожара средняя}}^b = 0,0084 \cdot 14100^{0,41} = 0,42, \text{ год}^{-1}.$$

С учетом действия систем пожарной безопасности и данных табл. 1 величина пожарного риска на гипотетическом объекте – речное (морское) судно составляет:

$$Q_{\text{СОПБ}} = 0,42 \cdot ((1 - 0,999) \cdot (1 - 0,928) \cdot (1 - 0,07) \cdot (1 - 0)) = 0,28 \cdot 10^{-4}. \quad (3)$$

Причем эффективность мероприятий в рамках обеспечения СОПБ, в нарушение требований ст. 5 [1], не исключает возможности превышения значений допустимого пожарного риска, установленного ФЗ № 123-ФЗ.

Значительный вклад в величину пожарного риска на гипотетическом объекте (формула (3)) вносит низкая эффективность первичных средств пожаротушения, так как по статистическим данным с их помощью ликвидируют возгорания только в 7 % случаев.

Из формулы (2) следует, что требуемая эффективность применения первичных средств пожаротушения (огнетушителей) на кораблях заданного типа (класса) корабля со средней площадью 14 100 м² должна составлять:

$$P_{\text{перв}}^{\text{требуемое}} = 1 - \frac{Q_D}{Q_n \cdot ((1 - P_3) \cdot (1 - P_{ПЗ}))} = 1 - \frac{1 \cdot 10^{-6}}{0,42 \cdot ((1 - 0,999) \cdot (1 - 0,928))} = 0,97.$$

То есть в 97 % случаев применение огнетушителей должно быть эффективным для обеспечения системы пожарной безопасности корабля до требуемого уровня при заданной площади судна.

$$P_{\text{перв}}^{\text{требуемое}} = 1 - \frac{Q_D}{a \cdot S_{\text{пожара средняя}}^b \cdot ((1 - P_3) \cdot (1 - P_{ПЗ}))}. \quad (4)$$

По формуле (4) построены графики зависимости требуемой эффективности первичных средств пожаротушения от фактической площади грузовых (рис. 4) и пассажирских кораблей (рис. 5). Коэффициенты a и b в формуле (4) приняты по [31] для грузовых кораблей 0,0084 и 0,41 (по аналогии с производственными объектами), а для пассажирских – 0,00006 и 0,9 (по аналогии с административными объектами) соответственно.

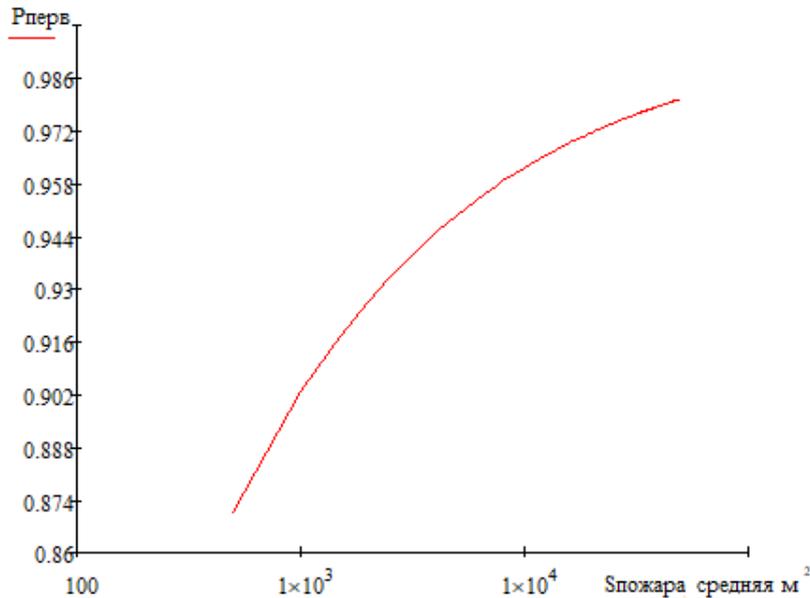


Рис. 4. Требуемая эффективность применения огнетушителей для обеспечения пожарной безопасности грузовых кораблей в зависимости от площади судна

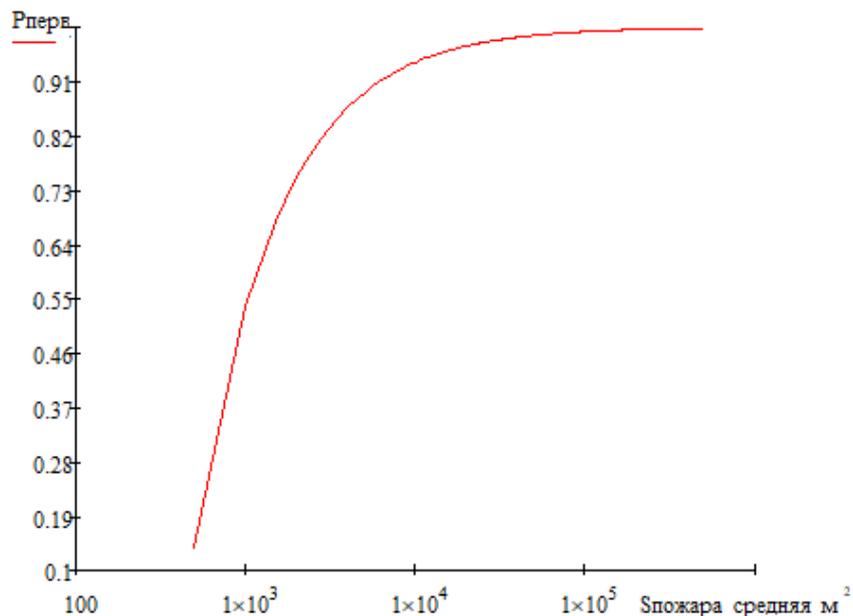


Рис. 5. Требуемая эффективность применения огнетушителей для обеспечения пожарной безопасности пассажирских кораблей в зависимости от площади судна

Эффективность первичных средств пожаротушения, в частности огнетушителей, определяется основными составляющими [32]:

- конструкцией ($P_{констр}$);
- огнетушащим составом ($P_{отв}$);

– методиками оснащения (с учетом того, что эффективность пожаротушения зависит от оснащенности судна первичными средствами пожаротушения) ими объектов ($P_{осн}$).

$$P_{перв} = P_{констр} \cdot P_{ОТВ} \cdot P_{осн}.$$

Конструкция огнетушителя и применяемое в нем огнетушащее вещество одинаково действуют на очаг пожара как в море, так и на суше, поэтому принципиального значения при оценке эффективности СОПБ водного транспорта не имеют. Исходя из вышеизложенного, следует, что для повышения эффективности существующей СОПБ необходимо усовершенствовать методику оснащения судов первичными средствами пожаротушения.

Заключение

Все вышеобозначенное подчеркивает актуальность исследования вопроса безопасности на транспорте, а именно разработки комплексной методики обеспечения морских и речных судов огнетушителями по виду, массе заряда и местам размещения внутри судов, поскольку большая часть аварий, сопровождающихся пожарами, происходит в открытом водоеме.

Список источников

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Моторыгин Ю.Д., Баранова Я.А., Латышев А.О. Расчет пожарных рисков на транспорте стохастическим методом // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. № 1 (5).
3. Галишев М.А., Архипов М.И., Тарасов С.В. Расчет пожарных рисков на транспорте с использованием логистической функции // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. № 1 (5).
4. Методика расчета пожарных рисков на транспорте / М.И. Архипов [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2014. № 3. С. 132–139.
5. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.04.2022).
6. Кожевин Д.Ф., Меркулов А.П. Определение частоты возникновения пожара в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности в зависимости от площади здания // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 44–47.
7. Данные пожарной статистики 24 стран за 2015 г. (данные получены из ответов на запросы Центра пожарной статистики) // СТIF.
URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report20_world_fire_statistics_2015.pdf (дата обращения: 13.04.2022).
8. Данные пожарной статистики 24 стран за 2016 г. (данные получены из ответов на запросы Центра пожарной статистики) // СТIF.
URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report21_world_fire_statistics_2016.pdf (дата обращения: 13.04.2022).
9. Статистика вызовов пожарных служб во Франции (выпуск 2017 г.). URL: <https://www.pompiers.fr/actualites/les-statistiques-des-services-dincendie-et-de-secours-pour-lannee-2017-edition-2018> (дата обращения: 13.04.2022).
10. Данные пожарной статистики 23 стран за 2017 г. (данные получены из ответов на запросы Центра пожарной статистики) // СТIF.
URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report22_world_fire_statistics_2017.pdf (дата обращения: 14.04.2022).

11. Статистика вызовов пожарных служб во Франции (выпуск 2018 г.). URL: https://www.pompiers.fr/sites/default/files/content/downloadfile/statistiques_sdis_2017_edition_2018.pdf (дата обращения: 14.04.2022).
12. Перспективы народонаселения мира: редакция 2019 г. // Организация Объединенных Наций. Департамент по экономическим и социальным вопросам. Отдел народонаселения. 2019.
13. Данные пожарной статистики 25 стран за 2018 г. (данные получены из ответов на запросы Центра пожарной статистики) // CTIF. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/201806/CTIF_Report23_World_Fire_Statistics_2018_vs_2_0.pdf (дата обращения: 14.04.2022).
14. Статистика вызовов пожарных служб во Франции (выпуск 2019 г.). URL: <https://mobile.interieur.gouv.fr/Publications/Statistiques/Securite-civile/2018> (дата обращения: 15.04.2022).
15. Данные пожарной статистики 23 стран за 2019 г. (данные получены из ответов на запросы Центра пожарной статистики) // CTIF. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/2020-11/CTIF_Report25_Persian-Edition-2020.pdf (дата обращения: 15.04.2022).
16. Статистика вызовов пожарных служб во Франции (выпуск 2020 г.). URL: <https://mobile.interieur.gouv.fr/Publications/Statistiques/Securite-civile/2019> (дата обращения: 15.04.2022).
17. Пожарная безопасность в 2016 г.: стат. сб. М.: ВНИИПО МЧС России, 2017.
18. Пожарная безопасность в 2017 г.: стат. сб. М.: ВНИИПО МЧС России, 2018.
19. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году: стат. сб. / П.В. Полехин [и др.]; под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО МЧС России, 2020. 80 с.
20. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: стат. сб. / П.В. Полехин [и др.]; под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО МЧС России, 2021. 112 с.
21. Шаратов С.В., Крутолапов А.С., Копейкин Н.Н. Анализ информации о пожарах на судах и о практике их тушения в портах // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 1. С. 52–60.
22. Морские перевозки: все о требованиях, особенностях и документации. URL: <https://www.mjr.ru/services/morskie-perevozki2047> (дата обращения: 15.04.2022).
23. Обзор отрасли грузоперевозок России 2020 год. URL: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru_ru/topics/automotive-and-transportation/ey-russia-transportation-services-2020.pdf?download (дата обращения: 15.04.2022).
24. Морские пожары // Суда в море. URL: <http://sudavmore.ru/korabli-vspomagatel'nogo-flota/morskie-pozhary> (дата обращения: 17.04.2022).
25. Сборник характерных аварийных случаев на море и ВВП, произошедших в 2016 г. // Ространснадзор. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/> (дата обращения: 10.04.2022).
26. Сборник характерных аварийных случаев на море и ВВП, произошедших в 2017 г. // Ространснадзор. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/> (дата обращения: 10.04.2022).
27. Сборник характерных аварийных случаев на море и ВВП, произошедших в 2018 г. // Ространснадзор. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/> (дата обращения: 10.04.2022).
28. Сборник характерных аварийных случаев на море и ВВП, произошедших в 2019 г. // Ространснадзор. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/> (дата обращения: 10.04.2022).
29. Сборник характерных аварийных случаев на море и ВВП, произошедших в 2020 г. // Ространснадзор. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/> (дата обращения: 10.04.2022).
30. Тушение пожаров на морских и речных судах // Pandia. URL: <https://pandia.ru/text/78/004/50016.php> (дата обращения: 17.04.2022).
31. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. М.: ВНИИПО, 2019. 242 с.
32. Кожевин Д.Ф. Концепция перспективного развития первичных средств порошкового пожаротушения // Безопасность жизнедеятельности. 2022. № 7. С. 44–50.

References

1. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
2. Motorygin Yu.D., Baranova Ya.A., Latyshev A.O. Raschet pozharnyh riskov na transporte stohasticheskim metodom // Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy. 2014. № 1 (5).
3. Galishev M.A., Arhipov M.I., Tarasov S.V. Raschet pozharnyh riskov na transporte s ispol'zovaniem logisticheskoy funkcii // Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy. 2014. № 1 (5).
4. Metodika rascheta pozharnyh riskov na transporte / M.I. Arhipov [i dr.] // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2014. № 3. S. 132–139.
5. GOST 12.1.004–91. Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh processov. Obshchie trebovaniya. Metody kontrolya // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 09.04.2022).
6. Kozhevin D.F., Merkulov A.P. Opredelenie chastoty vozniknoveniya pozhara v zdaniyah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti v zavisimosti ot ploshchadi zdaniya // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 3. S. 44–47.
7. Dannye pozharnoj statistiki 24 stran za 2015 g. (dannye polucheny iz otvetov na zaprosy Centra pozharnoj statistiki) // CTIF. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report20_world_fire_statistics_2015.pdf (data obrashcheniya: 13.04.2022).
8. Dannye pozharnoj statistiki 24 stran za 2016 g. (dannye polucheny iz otvetov na zaprosy Centra pozharnoj statistiki) // CTIF. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report21_world_fire_statistics_2016.pdf (data obrashcheniya: 13.04.2022).
9. Statistika vyzovov pozharnyh sluzhb vo Francii (vypusk 2017 g.). URL: <https://www.pompiers.fr/actualites/les-statistiques-des-services-dincendie-et-de-secours-pour-lannee-2017-edition-2018> (data obrashcheniya: 13.04.2022).
10. Dannye pozharnoj statistiki 23 stran za 2017 g. (dannye polucheny iz otvetov na zaprosy Centra pozharnoj statistiki) // CTIF. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report22_world_fire_statistics_2017.pdf (data obrashcheniya: 14.04.2022).
11. Statistika vyzovov pozharnyh sluzhb vo Francii (vypusk 2018 g.). URL: https://www.pompiers.fr/sites/default/files/content/downloadfile/statistiques_sdis_2017_edition_2018.pdf (data obrashcheniya: 14.04.2022).
12. Perspektivy narodonaseleniya mira: redakciya 2019 g. // Organizaciya Ob"edinennyh Nacij. Departament po ekonomicheskim i social'nym voprosam. Otdel narodonaseleniya. 2019.
13. Dannye pozharnoj statistiki 25 stran za 2018 g. (dannye polucheny iz otvetov na zaprosy Centra pozharnoj statistiki) // CTIF. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/201806/CTIF_Report23_World_Fire_Statistics_2018_vs_2_0.pdf (data obrashcheniya: 14.04.2022).
14. Statistika vyzovov pozharnyh sluzhb vo Francii (vypusk 2019 g.). URL: <https://mobile.interieur.gouv.fr/Publications/Statistiques/Securite-civile/2018> (data obrashcheniya: 15.04.2022).
15. Dannye pozharnoj statistiki 23 stran za 2019 g. (dannye polucheny iz otvetov na zaprosy Centra pozharnoj statistiki) // CTIF. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/2020-11/CTIF_Report25_Persian-Edition-2020.pdf (data obrashcheniya: 15.04.2022).
16. Statistika vyzovov pozharnyh sluzhb vo Francii (vypusk 2020 g.). URL: <https://mobile.interieur.gouv.fr/Publications/Statistiques/Securite-civile/2019> (data obrashcheniya: 15.04.2022).
17. Pozharnaya bezopasnost' v 2016 g.: stat. sb. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2017.
18. Pozharnaya bezopasnost' v 2017 g.: stat. sb. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2018.

19. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2019 godu: stat. sb. / P.V. Polekhin [i dr.]; pod obshch. red. D.M. Gordienko. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2020. 80 s.
20. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2020 godu: stat. sb. / P.V. Polekhin [i dr.]; pod obshch. red. D.M. Gordienko. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2021. 112 s.
21. Sharapov S.V., Krutolapov A.S., Kopejkin N.N. Analiz informacii o pozharah na sudah i o praktike ih tusheniya v portah // Pozharovzryvobezopasnost'. 2017. T. 26. № 1. S. 52–60.
22. Morskie perevozki: vse o trebovaniyah, osobennostyah i dokumentacii.
URL: <https://www.mjr.ru/services/morskie-perevozki2047> (data obrashcheniya: 15.04.2022).
23. Obzor otrasli gruzoperevozok Rossii 2020 god.
URL: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru_ru/topics/automotive-and-transportation/ey-russia-transportation-services-2020.pdf?download (data obrashcheniya: 15.04.2022).
24. Morskie pozhary // Suda v more. URL: <http://sudavmore.ru/korabli-vspomagatel'nogo-flota/morskie-pozhary> (data obrashcheniya: 17.04.2022).
25. Sbornik harakternyh avariynih sluchaev na more i VVP, proizoshedshih v 2016 g. // Rostransnadzor. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/> (data obrashcheniya: 10.04.2022).
26. Sbornik harakternyh avariynih sluchaev na more i VVP, proizoshedshih v 2017 g. // Rostransnadzor. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/> (data obrashcheniya: 10.04.2022).
27. Sbornik harakternyh avariynih sluchaev na more i VVP, proizoshedshih v 2018 g. // Rostransnadzor. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/> (data obrashcheniya: 10.04.2022).
28. Sbornik harakternyh avariynih sluchaev na more i VVP, proizoshedshih v 2019 g. // Rostransnadzor. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/> (data obrashcheniya: 10.04.2022).
29. Sbornik harakternyh avariynih sluchaev na more i VVP, proizoshedshih v 2020 g. // Rostransnadzor. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/> (data obrashcheniya: 10.04.2022).
30. Tushenie pozharov na morskikh i rechnyh sudah // Pandia.
URL: <https://pandia.ru/text/78/004/50016.php> (data obrashcheniya: 17.04.2022).
31. Posobie po opredeleniyu raschetnyh velichin pozharnogo riska dlya proizvodstvennyh ob"ektov. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2019. 242 s.
32. Kozhevina D.F. Konceptsiya perspektivnogo razvitiya pervichnyh sredstv poroshkovogo pozharotusheniya // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2022. № 7. S. 44–50.

Информация об авторах:

Кожевин Дмитрий Федорович, начальник кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: Yagmort_KDF@mail.ru
Естехин Виталий Геннадьевич, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Дальневосточной пожарно-спасательной академии – филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (690091, г. Владивосток, п. Аякс, д. 27), e-mail: estekhin@inbox.ru

Information about authors:

Kozhevina Dmitrii F., chief of the physical and chemical bases of the burning and extinguishing processes department of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: Yagmort_KDF@mail.ru
Estekhin Vitalii G., adjunct of the faculty of higher training of Far Eastern fire and rescue academy – a branch of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (690091, Russia, Vladivostok, 27, Ajax), e-mail: estekhin@inbox.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 15.08.2022; одобрена после рецензирования: 12.09.2022; принята к публикации: 24.10.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 15.08.2022; approved after review: 12.09.2022; accepted for publication: 24.10.2022

Научная статья
УДК 678.026

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХЗВУКОВОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

**Андрюшкин Александр Юрьевич;
Рустамова Машхура Умаровна.**

**Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия.**

✉ **Кадочникова Елена Николаевна.**

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ **vf10@yandex.ru**

Аннотация. Лакокрасочные покрытия обеспечивают работоспособность, надежность и безопасность металлических конструкций. Рациональные параметры сверхзвукового напыления определяют высокую прочность лакокрасочного покрытия. Сверхзвуковое напыление обуславливает малый размер капель распыляемой композиции, из которых образуется однородная смесь на поверхности металлической конструкции. После отверждения напыленной смеси формируется прочное лакокрасочное покрытие, характеризующееся минимальными остаточными напряжениями и низкой дефектностью. Проанализированы факторы, способствующие уменьшению размеров капель композиции при сверхзвуковом напылении: увеличение числа сопел подачи воздуха и скорости его истечения, а также рост числа и интенсивности ударных волн; уменьшение диаметра канала подачи композиции. Приведена методика установления зависимости прочности лакокрасочного покрытия от параметров сверхзвукового напыления. Описаны экспериментальные образцы лакокрасочного покрытия, и рассмотрено оборудование для их исследования. Экспериментальные данные подтверждают влияние параметров сверхзвукового напыления на средний диаметр капель и на прочность лакокрасочного покрытия при отрыве от подложки и при растяжении. Экспериментально установлено, что параметры сверхзвукового напыления существенно влияют на прочность лакокрасочного покрытия.

Ключевые слова: прочность, лакокрасочное покрытие, экспериментальная модель, сверхзвуковое напыление, металлическая конструкция

Для цитирования: Андрюшкин А.Ю., Рустамова М.У., Кадочникова Е.Н. Экспериментальная модель влияния параметров сверхзвукового напыления на прочность лакокрасочного покрытия при обеспечении безопасности металлических конструкций // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 21–30.

EXPERIMENTAL MODEL OF THE EFFECT OF SUPERSONIC SPRAYING PARAMETERS ON THE STRENGTH OF PAINTWORK WHILE ENSURING THE SAFETY OF METAL STRUCTURES

Andryushkin Aleksander Yu.;

Rustamova Mashchura U.

Baltic state technical university «VOENMEH» of D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia.

✉ Kadochnikova Elena N.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ vf10@yandex.ru

Abstract. Paint coatings ensure the operability, reliability and safety of metal structures. Rational parameters of supersonic spraying determine the high strength of the paint coating. Supersonic spraying causes the small size of the droplets of the sprayed composition, from which a homogeneous mixture is formed on the surface of the metal structure. After curing of the sprayed mixture, a durable paint coating is formed, characterized by minimal residual stresses and low defectiveness. The factors contributing to the reduction of the droplet size of the composition during supersonic spraying are analyzed: an increase in the number of air supply nozzles and its flow rate, as well as an increase in the number and intensity of shock waves; a decrease in the diameter of the composition supply channel. The method of determining the dependence of the strength of the paint coating on the parameters of supersonic spraying is given. Experimental samples of paintwork are described and the equipment for their research is considered. Experimental data confirm the influence of supersonic spraying parameters on the average diameter of droplets and on the strength of the paint coating when detached from the substrate and when stretched. It has been experimentally established that the parameters of supersonic spraying significantly affect the strength of the paint coating.

Keywords: durability, paint coating, experimental model, supersonic spraying, metal construction

For citation: Andrushkin A.Yu., Rustamova M.U., Kadochnikova E.N. Experimental model of the effect of supersonic spraying parameters on the strength of paintwork while ensuring the safety of metal structures // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 21–30.

Введение

Многие металлические конструкции подвержены воздействию окружающей среды, приводящему к коррозии металла. Коррозия обуславливает снижение несущей способности металлической конструкции, что при возникновении значительных нагрузок может стать причиной ее разрушения и аварии. Эффективным способом пассивной защиты металлических конструкций от коррозии и обеспечения ее безопасности при эксплуатации является применение лакокрасочных покрытий.

Лакокрасочные покрытия (ЛКП) широко используются в качестве противокоррозионной защиты металлических конструкций различного назначения, они обеспечивают их работоспособность и надежность. Одним из основных показателей качества ЛКП является прочность.

Высокая прочность ЛКП обеспечивается рациональной технологией его нанесения, которая характеризуется оптимальными параметрами на каждой операции. Перспективным технологическим методом формирования ЛКП является сверхзвуковое напыление (СН), обеспечивающее мелкодисперсный распыл напыляемых композиций и высокую

однородность смеси на поверхности металлической конструкции. Напыленная однородная смесь после отверждения имеет минимальные внутренние (остаточные) напряжения и низкую дефектность. Поэтому актуально получение экспериментальной модели влияния параметров СН на размер капель и на прочность ЛКП [1–9].

Целью исследования является установление влияния параметров СН на размеры капель распыляемой композиции и на прочность ЛКП при отрыве от подложки и растяжении.

Задачи исследования:

1. Анализ факторов, способствующих уменьшению размеров капель композиции при СН.
2. Разработка методики установления зависимости прочности ЛКП от параметров СН.
3. Получение экспериментальной модели влияния параметров СН на средний диаметр капель и на прочность ЛКП при отрыве от подложки и растяжении.

Анализ факторов, способствующих уменьшению размеров капель композиции при сверхзвуковом напылении

Применение при напылении сверхзвукового потока воздуха содействует уменьшению размеров капель распыляемой композиции из-за высокой скорости его истечения и образования большого числа ударных волн в факеле распыления. Чем больше расход воздуха, тем меньше средний диаметр образующихся капель. Расход воздуха определяется конструкцией сверхзвуковых сопел, установленных в распылитель, и зависит от диаметра критического сечения сопла и давлением воздуха перед соплом. Расход композиции обусловлен давлением подачи композиции и диаметром канала подачи композиции. Повышают расход воздуха при сверхзвуковом режиме истечения, устанавливая несколько сверхзвуковых сопел подачи воздуха. Распад струи композиции и дробление капель в высокоскоростном потоке воздуха обуславливает малый размер капель, из которых на поверхности металлической конструкции образуется однородная смесь формируемого ЛКП. Однородность ЛКП растет с повышением дисперсности формирующих его частиц [10].

Проведенный анализ показал, что уменьшению размеров капель композиции способствует:

- увеличение числа сверхзвуковых сопел подачи воздуха $N_{св}$;
- рост скорости истечения воздуха;
- увеличение количества ударных волн и их интенсивности;
- уменьшение диаметра канала подачи композиции $d_{кпк}$.

Методика установления зависимости прочности лакокрасочного покрытия от параметров сверхзвукового напыления

Параметры СН, определяющие прочность ЛКП при напылении: M_a – число Маха на срезе сопла; $d_{кпк}$ – диаметр канала подачи композиции; $N_{св}$ – число сопел подачи воздуха. Зависимость прочности при различном нагружении ЛКП от параметров СН [10]:

$$x_k = k_0 \cdot (M_a)^{k_1} \cdot (d_{кпк})^{k_2} \cdot (N_{св})^{k_3}, \quad (1)$$

где k_0, k_1, k_2, k_3 – эмпирические коэффициенты; x_k – прочность ЛКП при растяжении или отрыве от подложки.

Прологарифмируем уравнение регрессии (1) [10]:

$$\ln(x_k) = \ln(k_0) + k_1 \cdot \ln(M_a) + k_2 \cdot \ln(d_{кпк}) + k_3 \cdot \ln(N_{св}). \quad (2)$$

Таблица 1. Уровни параметров СН

Параметры СН	Кодированное обозначение	Натуральные уровни параметров СН, соответствующие кодированным	
		Верхний (+1)	Нижний (-1)
Число Маха на срезе сопел M_a	x_1	3,0	1,5
Диаметр канала подачи композиции $d_{кпк}$, м	x_2	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$
Число сопел подачи воздуха $N_{св}$, шт.	x_3	20	8

Таблица 2. Матрица планирования опытов

№ опыта	Кодированные значения								Натуральные значения		
	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot x_3$	$x_2 \cdot x_3$	$x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$	M_a	$d_{кпк}$, м	$N_{св}$, шт.
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	1,5	$0,8 \cdot 10^{-3}$	8
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	3,0	$0,8 \cdot 10^{-3}$	8
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	1,5	$3,2 \cdot 10^{-3}$	8
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	3,0	$3,2 \cdot 10^{-3}$	8
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	1,5	$0,8 \cdot 10^{-3}$	20
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	3,0	$0,8 \cdot 10^{-3}$	20
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	1,5	$3,2 \cdot 10^{-3}$	20
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	3,0	$3,2 \cdot 10^{-3}$	20

Результаты эксперимента выразим полиномом [10]:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3, \quad (3)$$

где $y = \ln(x_k)$; x_1, x_2, x_3 – кодированные параметры СН $\ln(M_a), \ln(d_{кпк}), \ln(N_c)$ соответственно; $b_0, b_1, b_2, b_3; b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – коэффициенты полинома.

Кодированные значения параметров СН x_1, x_2, x_3 равны единице на верхнем уровне и минус единице на нижнем уровне при натуральных значениях параметров СН (табл. 1). Кодированные и натуральные значения параметров СН связаны между собой [10]:

$$x_1 = \frac{2 \cdot (\ln(M_a) - \ln(3,0))}{\ln(3,0) - \ln(1,5)} + 1; \quad x_2 = \frac{2 \cdot (\ln(d_{кпк}) - \ln(3,2 \cdot 10^{-3}))}{\ln(3,2 \cdot 10^{-3}) - \ln(0,8 \cdot 10^{-3})} + 1; \\ x_3 = \frac{2 \cdot (\ln(N_c) - \ln(20))}{\ln(20) - \ln(8)} + 1. \quad (4)$$

Для определения коэффициентов уравнения (3) проведен полный факторный эксперимент 23 (табл. 2).

Статистическая обработка и анализ экспериментальных данных проводился по изложенной в работе [10] методике в следующей последовательности:

- для каждой строки матрицы планирования по результатам трех параллельных опытов вычисляют среднее арифметическое значение отклика $y_{срj}$, построчную дисперсию, среднеквадратическое отклонение;
- однородность ряда дисперсий проверяют с помощью критерия Кохрена, сравнивая расчетное и табличное значение;
- вычисляют дисперсию воспроизводимости эксперимента;
- определяют коэффициенты полинома $b_0, b_1, b_2, b_3; b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$;
- проверяют значимость коэффициентов полинома с помощью критерия Стьюдента, сравнивая расчетное t_p и табличное t_t значение;

- определяют дисперсию адекватности;
- проверяют адекватность модели по критерию Фишера, сравнивая расчетное и табличное значение.

Образцы лакокрасочного покрытия и оборудование для экспериментального исследования

Распылитель. Для эксперимента был изготовлен многосопловой распылитель $N_{св}=20$ (рис. 1). Сверхзвуковые сопла имеют число Маха на срезе сопла $M_a=1,5; 1,75; 2,0; 2,25; 2,5; 2,75; 3,0$. В канал подачи композиции устанавливаются сменные футорки с диаметром канала подачи композиции $d_{кнк}=0,8; 1,2; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8; 3,2$ мм [10].

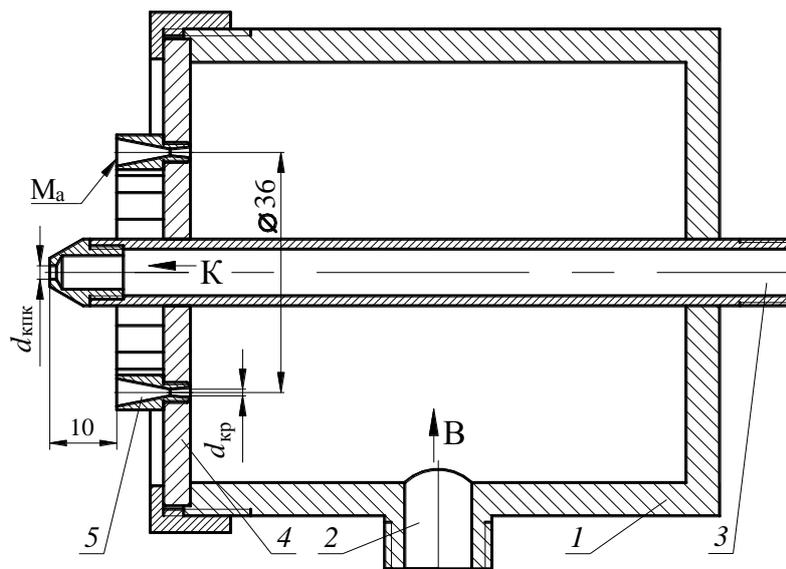


Рис. 1. Многосопловой распылитель: $d_{кнк}$ – диаметр канала подачи композиции; $d_{кр}$ – диаметр критического сечения сопла; M_a – число Маха на срезе сопел; В – воздух; К – композиция; 1 – корпус распылителя; 2 – канал подачи воздуха; 3 – канал подачи композиции; 4 – сопловой блок с кольцевой компоновкой; 5 – сверхзвуковое сопло

Таким образом, в эксперименте задаются три параметра СН: диаметр канала подачи композиции $d_{кнк}$, число сверхзвуковых сопел $N_{св}$, число Маха на срезе сопел M_a .

Оценка среднего диаметра капель. Для определения среднего диаметра распыленных капель композиции использован лазерный дифракционный анализатор фирмы «MALVERN» (ISO 13320:2009; ГОСТ Р 8.777–2011) [10].

Образцы лакокрасочного покрытия. Образцы ЛКП для испытаний изготавливались двух видов (рис. 2):

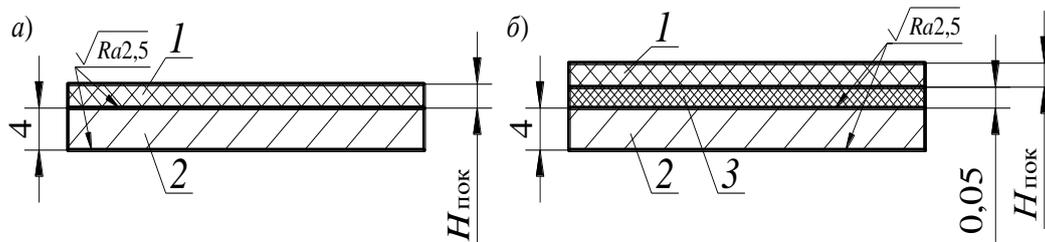


Рис. 2. Образцы с напыленным ЛКП: а – образец с напыленным ЛКП на стальную пластину; б – образец с напыленным ЛКП на ПЭТ пленку; 1 – покрытие; 2 – стальная пластина; 3 – ПЭТ пленка

- образец тип 1 – напыленное ЛКП, адгезионно связано со стальной пластиной (рис. 2 а);
- образец тип 2 – свободное ЛКП (ГОСТ 14243–78), напыленное на полиэтилентерефталатную (ПЭТ) пленку и отделяемое от него после отверждения (рис. 2 б).

ЛКП напылялось в два слоя. При диаметре канала подачи композиции $d_{\text{кнк}}=0,8 \cdot 10^{-3}$ м толщина двухслойного ЛКП составляла $H_{\text{пок}}=0,13-0,14$ мм, а при $d_{\text{кнк}}=3,2 \cdot 10^{-3}$ м – $H_{\text{пок}}=2,03-2,24$ мм.

Измерение толщины ЛКП $H_{\text{пок}}$ проводили с помощью толщиномера NOVOTEST ТП-1 [10].

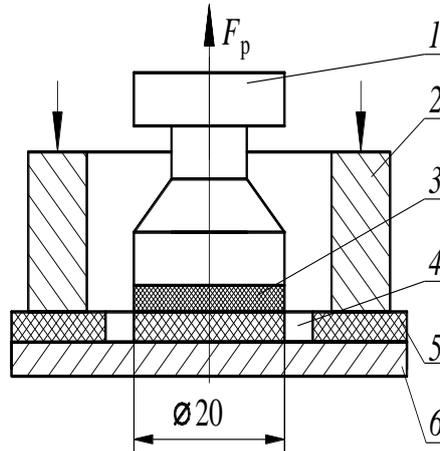


Рис. 3. Схема определения предела прочности ЛКП при отрыве от подложки: 1 – «грибок»; 2 – опорное кольцо; 3 – клеевой слой; 4 – кольцевая канавка; 5 – ЛКП; 6 – подложка (стальная пластина); F_p – усилие отрыва «грибка»

Оценка прочности ЛКП при отрыве от подложки. ГОСТ 32299–2013 регламентирует испытания ЛКП на когезионную прочность на образцах тип 1 (рис. 2 а). Измерения прочности при отрыве от подложки проводили с помощью цифрового автоматического адгезиметра «PosiTest AT-A (рис. 3) [10].

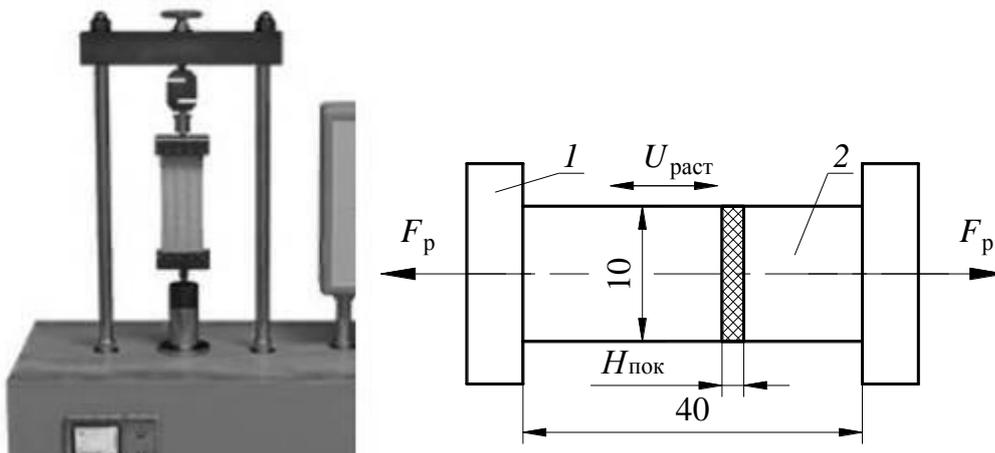


Рис. 4. Разрывная машина МИ-Р-ГМ и схема определения предела прочности при растяжении ЛКП: 1 – зажим; 2 – образец; F_p – усилие растяжения образца; $U_{\text{раст}}$ – скорость растяжения зажимов; $H_{\text{пок}}$ – толщина ЛКП

Оценка прочности ЛКП при растяжении. ГОСТ 18299–72 регламентирует испытания ЛКП на прочность при растяжении на образцах тип 2 (рис. 2 б). Опыты проводились на разрывной машине МИ-Р-ГМ (рис. 4) [10].

Экспериментальная модель влияния параметров сверхзвукового напыления на диаметр капель и на прочность лакокрасочного покрытия при отрыве от подложки и растяжении

Зависимости диаметра распыленных капель, прочности на отрыв и прочности при растяжении ЛКП от параметров СН представим уравнениями регрессии согласно выражению (1) [10]:

$$d_k = k_0 \cdot (M_a)^{k_1} \cdot (d_{\text{КПК}})^{k_2} \cdot (N_{\text{СВ}})^{k_3}; \quad (5)$$

$$\sigma_{\text{пред_от}} = k_0 \cdot (M_a)^{k_1} \cdot (d_{\text{КПК}})^{k_2} \cdot (N_{\text{СВ}})^{k_3}; \quad (6)$$

$$\sigma_{\text{пред_рас}} = k_0 \cdot (M_a)^{k_1} \cdot (d_{\text{КПК}})^{k_2} \cdot (N_{\text{СВ}})^{k_3}, \quad (7)$$

где $\sigma_{\text{пред_от}}$ – предельная прочность ЛКП при отрыве от подложки; $\sigma_{\text{пред_рас}}$ – предельная прочность ЛКП при растяжении.

Коэффициенты уравнений регрессии (5–7) определяли по результатам полного факторного эксперимента 23 (табл. 2). Были определены средний диаметр капель с помощью лазерного дифракционного анализатора фирмы «MALVERN», а также предельная прочность ЛКП при отрыве от подложки и при растяжении (табл. 3).

Таблица 3. Результаты опытов

№ опыта	Диаметр капель d_k , мкм				Предельная прочность ЛКП при отрыве от подложки $\sigma_{\text{пред_от}}$, МПа				Предельная прочность ЛКП при растяжении $\sigma_{\text{пред_рас}}$, МПа			
	d_{k1}	d_{k2}	d_{k3}	$d_{k\text{ ср}}$	$\sigma_{\text{пред_от}1}$	$\sigma_{\text{пред_от}2}$	$\sigma_{\text{пред_от}3}$	$\sigma_{\text{пред_от_ср}}$	$\sigma_{\text{пред_рас}1}$	$\sigma_{\text{пред_рас}2}$	$\sigma_{\text{пред_рас}3}$	$\sigma_{\text{пред_рас_ср}}$
1	215	330	601	382	3,0	3,5	4,6	3,7	3,7	4,4	5,7	4,6
2	145	183	455	261	3,8	4,4	4,7	4,3	4,8	5,5	5,9	5,4
3	257	426	652	445	3,1	3,2	3,6	3,3	4,0	3,8	4,5	4,1
4	125	260	383	256	3,5	3,9	4,3	3,9	4,1	4,9	5,4	4,8
5	160	190	370	240	4,2	5,2	5,3	4,9	5,2	6,5	6,6	6,1
6	42	78	54	58	5,3	5,5	5,7	5,5	7,0	6,8	6,9	6,9
7	127	529	535	397	3,1	3,5	4,5	3,7	3,9	4,3	5,6	4,6
8	123	242	328	231	3,0	4,8	4,8	4,2	3,7	5,8	6,4	5,3

Статистическая обработка и анализ экспериментальных данных показала адекватность экспериментальных моделей. Были определены значимые коэффициенты $b_0, b_1, b_2, b_3; b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ полинома (3) и получено следующее выражение [10]:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3. \quad (8)$$

После перехода от кодированных к натуральным значениям параметров СН по выражению (4) и их подстановки в выражение (8) получены уравнения регрессии (5–7) с эмпирическими коэффициентами [10]:

$$d_k = 19850 \cdot (M_a)^{-1,018} \cdot (d_{\text{КПК}})^{0,344} \cdot (N_{\text{СВ}})^{-0,590}, \quad (9)$$

где d_k – средний диаметр капель, мкм.

$$\sigma_{\text{пред_от}} = 0,879 \cdot (M_a)^{0,204} \cdot (d_{\text{КПК}})^{-0,140} \cdot (N_{\text{СВ}})^{0,191}, \quad (10)$$

где $\sigma_{\text{пред_от}}$ – предельная прочность ЛКП при отрыве от подложки, МПа.

$$\sigma_{\text{пред_рас}} = 1,042 \cdot (M_a)^{0,210} \cdot (d_{\text{кпк}})^{-0,144} \cdot (N_{\text{св}})^{0,198}, \quad (11)$$

где $\sigma_{\text{пред_рас}}$ – предельная прочность ЛКП при растяжении, МПа.

Получены экспериментальные модели (9–11) влияния параметров СН композиции на диаметр капель и прочность ЛКП при отрыве от подложки и растяжении.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментально установлена причинно-следственная связь между параметрами СН, размерами капель и прочностью ЛКП. Увеличение скорости истечения воздуха (числа Маха M_a), повышение расхода воздуха (числа сопел подачи воздуха $N_{\text{св}}$), уменьшение расхода композиции (диаметра канала подачи композиции $d_{\text{кпк}}$) обуславливает уменьшение среднего диаметра капель и повышение прочности ЛКП при отрыве от подложки и при растяжении.

Цель исследования можно считать достигнутой – установлено влияние параметров СН на размеры капель распыляемой композиции и на прочность ЛКП при отрыве от подложки и растяжении.

Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально установлено, что при сверхзвуковом напылении уменьшению среднего размера капель напыляемой композиции и повышению прочности лакокрасочного покрытия способствует увеличение расхода воздуха, рост числа скачков уплотнения и их интенсивности, а также уменьшение расхода распыляемой композиции.
2. Рост прочности лакокрасочного покрытия определяется высокой однородностью смеси формируемого лакокрасочного покрытия, которая обусловлена малым размером капель напыляемой композиции.
3. Таким образом, параметры сверхзвукового напыления существенно влияют на прочность лакокрасочного покрытия.

Список источников

1. Пашаев А.М., Джанахмедов А.Х., Алиев А.А. Оценка статической прочности лакокрасочного покрытия обшивки самолета // Вестник машиностроения. 2018. № 7. С. 72–75.
2. Раскутин А.Е. Российские полимерные композиционные материалы нового поколения, их освоение и внедрение в перспективных разрабатываемых конструкциях // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 349–367. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-349-367.
3. Лаптев А.Б., Николаев Е.В., Колпачков Е.Д. Термодинамические характеристики старения полимерных композиционных материалов в условиях реальной эксплуатации // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 3 (52). С. 80–88. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-80-88.
4. Системы лакокрасочных покрытий для вертолетной техники / Л.В. Семенова [и др.] // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 4 (49). С. 56–61. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-56-61.
5. Яковлев А.Д., Яковлев С.А. Лакокрасочные покрытия функционального назначения. СПб.: Химиздат, 2016. 272 с.
6. Гайдар С.М. Теория и практика создания средств защиты сельскохозяйственной техники от коррозии. М.: ФГНУ «Росинформоагротех», 2011. 310 с.
7. Сергеевичев А.В., Онегин В.И. Физико-химические основы процессов формирования полимерных покрытий на твердой поверхности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 223. С. 213–227.
8. Гинсар И.Э. Общие рекомендации по рациональному выбору метода оценки адгезионной прочности лакокрасочных покрытий // Политехнический молодежный журнал. 2017. № 11 (16). С. 4.

9. Исследование адгезии функциональных лакокрасочных покрытий для защиты поверхности ПКМ / А.А. Силаева [и др.] // Труды ВИАМ. 2021. № 9 (103). С. 59–66.

10. Андрияшкин А.Ю. Применение сверхзвукового газодинамического напыления при многоструйной подаче газа для снижения вероятности отказа многослойных функциональных покрытий: монография. СПб.: БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2021. 258 с.

References

1. Pashaev A.M., Dzhanahmedov A.H., Aliev A.A. Ocenka staticheskoj prochnosti lakokrasochnogo pokrytiya obshivki samoleta // Vestnik mashinostroeniya. 2018. № 7. S. 72–75.

2. Raskutin A.E. Rossijskie polimernye kompozicionnye materialy novogo pokoleniya, ih osvoenie i vnedrenie v perspektivnyh razrabatyvaemyh konstrukcijah // Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2017. № 5. S. 349–367. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-349-367.

3. Laptev A.B., Nikolaev E.V., Kolpachkov E.D. Termodinamicheskie harakteristiki stareniya polimernyh kompozicionnyh materialov v usloviyah real'noj ekspluatacii // Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2018. № 3 (52). S. 80–88. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-80-88.

4. Sistemy lakokrasochnyh pokrytij dlya vertoletnoj tekhniki / L.V. Semenova [i dr.] // Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2017. № 4 (49). S. 56–61. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-56-61.

5. Yakovlev A.D., Yakovlev S.A. Lakokrasochnye pokrytiya funkcional'nogo naznacheniya. SPb.: Himizdat, 2016. 272 s.

6. Gajdar S.M. Teoriya i praktika sozdaniya sredstv zashchity sel'skohozyajstvennoj tekhniki ot korrozii. M.: FGNU «Rosinformoagrotekh», 2011. 310 s.

7. Sergeevichev A.V., Onegin V.I. Fiziko-himicheskie osnovy processov formirovaniya polimernyh pokrytij na tverdoj poverhnosti // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2018. Vyp. 223. S. 213–227.

8. Ginsar I.E. Obschie rekomendacii po racional'nomu vyboru metoda ocenki adgezionnoj prochnosti lakokrasochnyh pokrytij // Politekhnikeskij molodezhnyj zhurnal. 2017. № 11 (16). S. 4.

9. Issledovanie adgezii funkcional'nyh lakokrasochnyh pokrytij dlya zashchity poverhnosti PKM / A.A. Silaeva [i dr.] // Trudy VIAM. 2021. № 9 (103). S. 59–66.

10. Andryushkin A.Yu. Primenenie sverhzvukovogo gazodinamicheskogo napyleniya pri mnogostrujnoj podache gaza dlya snizheniya veroyatnosti otkaza mnogoslujnyh funkcional'nyh pokrytij: monografiya. SPb.: BGTU «VOENMEKH», 2021. 258 s.

Информация об авторах:

Андрюшкин Александр Юрьевич, заведующий кафедрой А2 «Технологии конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская, д. 1), кандидат технических наук, доцент, e-mail: Sascha1a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7812-069X>

Рустамова Машхура Умаровна, аспирант кафедры А2 «Технологии конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская, д. 1), <https://orcid.org/0000-0002-2513-3809>

Кадочникова Елена Николаевна, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: vf10@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4577-390X>

Information about the authors:

Andryushkin Alexander Yu., head of the A2 department «Technologies of structural materials and production of rocket and space technology» of D.F. Ustinov Baltic state technical university «VOENMEH» (190005, Saint-Petersburg, 1st Krasnoarmeyskaya, 1), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: Sascha1a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7812-069X>

Rustamova Mashkhura U., postgraduate student of D.F. Ustinov Baltic state technical university «VOENMEH» (190005, Saint-Petersburg, 1st Krasnoarmeyskaya, 1), department A2 «Technologies of structural materials and Production of rocket and space technology», <https://orcid.org/0000-0002-2513-3809>

Kadochnikova Elena N., associate professor of the department of fire safety of technological processes and productions of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: vf10@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4577-390X>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 28.10.2022; одобрена после рецензирования: 31.10.2022; принята к публикации: 02.11.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 28.10.2022; approved after review: 31.10.2022; accepted for publication: 02.11.2022

Научная статья

УДК 614.841.22; 504.064.2.001.18

СИСТЕМА КЛАССИФИКАЦИИ ЗОН ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ПО ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

✉ **Королева Людмила Анатольевна;**

Подмарков Владимир Валентинович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.

Хайдаров Андрей Геннадьевич.

ООО «Аналитические системы», Санкт-Петербург, Россия

✉ *koroleva.l@igps.ru*

Аннотация. Пожары на полигонах твердых коммунальных отходов происходят с достаточной регулярностью. Они практически не прогнозируются, трудно поддаются обнаружению и тушению. Актуальным является изучение биологических и физико-химических процессов, происходящих в местах захоронения отходов, и исследование их влияния на возникновение и развитие пожаров. Цель исследования заключается в обосновании и формировании системы классификации зон полигонов твердых коммунальных отходов по пожарной опасности.

Тление, горение и пиролиз рассмотрены как процессы термической деструкции, характерные для мест захоронения отходов при повышенных температурах. Определены их начальные условия, выявлены пути распространения. Дана их характеристика.

Для оценки протекающих на полигоне пожароопасных процессов предложена система индикаторов. Она включает состав и температуру устья газовой скважины, температуру подповерхностного слоя, скорость деформации. Газами, концентрацию которых целесообразно контролировать для оценки пожарной опасности мест захоронения отходов, являются CH_4 , CO_2 , O_2 и CO .

Предложено разделение полигона твердых коммунальных отходов на пять зон, характеризующихся повышенной температурой и отличающихся протекающими биологическими и физико-химическими процессами. Представлены численные значения индикаторов, позволяющие идентифицировать пожароопасные зоны полигона.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, полигон, пожарная опасность, аэробное разложение, газовый фронт, горение, тление, пиролиз

Для цитирования: Королева Л.А., Подмарков В.В., Хайдаров А.Г. Система классификации зон полигонов твердых коммунальных отходов по пожарной опасности // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 31–39.

CLASSIFICATION SYSTEM OF SOLID MUNICIPAL WASTE LANDFILL ZONES BY FIRE HAZARD

✉ **Koroleva Ludmila A.;**

Podmarkov Vladimir V.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.

Khaydarov Andrey G.

Limited liability company «Analytical systems», Saint-Petersburg, Russia

✉ *koroleva.l@igps.ru*

Abstract. Fires at landfills of municipal solid waste occur with sufficient regularity. They are practically not predicted, difficult to detect and extinguish. The study of biological and physico-

chemical processes occurring in waste disposal sites and the study of their impact on the occurrence and development of fires is relevant. The purpose of the study is to substantiate and form a system of classification of municipal solid waste landfill zones by fire hazard.

Smouldering, gorenje and pyrolysis are considered as processes of thermal destruction, characteristic of waste disposal sites at elevated temperatures. Their initial conditions are determined, the ways of propagation are revealed. Their characteristics are given.

A system of indicators is proposed to assess the fire-hazardous processes occurring at the landfill. It includes the composition and temperature of the gas wellhead, the temperature of the subsurface layer, and the deformation rate. Gases whose concentration should be monitored to assess the fire hazard of waste disposal sites are CH_4 , CO_2 , O_2 and CO .

It is proposed to divide the municipal solid waste landfill into five zones characterized by elevated temperature and characterized by ongoing biological and physico-chemical processes. Numerical values of indicators allowing to identify fire-hazardous zones of the landfill are presented.

Keywords: solid municipal waste, landfill, fire hazard, aerobic decomposition, gas front, combustion, smoldering, pyrolysis

For citation: Koroleva L.A., Podmarkov V.V., Khaydarov A.G. Classification system of solid municipal waste landfill zones by fire hazard // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 31–39.

Введение

Пожары на полигонах твердых коммунальных отходов (ТКО) происходят с достаточной регулярностью [1–4]. Они практически не прогнозируются, трудно поддаются обнаружению и тушению, представляют значительную угрозу для окружающей среды и здоровья человека. При горении объектов ТКО выделяется значительное количество токсичных соединений, среди которых: бензол, ацетальдегид, диоксины, хлорорганические соединения [5]. Пожары могут сопровождаться резким запахом за счет образования, например, восстановленных соединений серы и органических кислот, влиять на состав фильтрата и свалочного газа, вызывать нестабильность склонов и т.д. Актуальным является изучение биологических и физико-химических процессов, происходящих в местах захоронения отходов, и исследование их влияния на возникновение и развитие пожаров.

Цель исследования заключается в обосновании и формировании системы классификации зон полигонов ТКО по пожарной опасности. Для достижения указанной цели были решены следующие задачи:

- определены начальные условия развития пожароопасных процессов, выявлены пути их распространения;
- дана характеристика процессов термической деструкции полигонов ТКО;
- разработана и обоснована система индикаторов, позволяющая дать оценку состояния полигона с точки зрения его пожарной опасности;
- проведено зонирование полигонов захоронения отходов с учетом развивающихся пожароопасных процессов.

Начальные условия развития пожароопасных процессов и пути их распространения

Повышение температуры может существенно повлиять на поведение и эксплуатацию полигонов ТКО. Для идентификации процессов, связанных с нагревом, определены основные параметры, соответствующие нормальным условиям эксплуатации мест захоронения отходов (до повышения температуры), что представлено в табл. 1. Исходные условия на свалке до воздействия повышенных температур представляет анаэробное разложение. Длительность аэробного разложения менее одного года, при этом необходим доступ кислорода, что ограничивает протекание процесса только поверхностными слоями.

Таблица 1. Параметры полигона, характеризующие процесс анаэробного разложения отходов при нормальных условиях эксплуатации [6–8]

Параметры мониторинга полигона ТКО	Единицы измерения	Нормальные условия эксплуатации
Устье газовой скважины		
Температура*	°С	≤ 65
Давление свалочного газа	кПа	< 5
Концентрации газов		
Метан (CH ₄)	% об.	45–60
Диоксид углерода (CO ₂)	% об.	40–60
Оксид углерода (CO)	объемная доля, Ppmv	< 20
Водород (H ₂)	% об.	< 1
Кислород (O ₂)	% об.	< 1,5
Азот (N ₂)	% об.	< 3
Соотношение концентраций [CH ₄]/[CO ₂]	% об./% об.	Около 1
В массе отходов		
Температура	°С	До 80

Примечание: *температура устья газовой скважины показывает неточное значение, то есть занижает температуру отходов на 10–20 °С [6]

При повышении температуры выше 65 °С анаэробное разложение обычно прекращается и усиливаются процессы, способные привести к возникновению и развитию пожара. К факторам, вызывающим повышение температуры, относятся: проникновение воздуха в отходы, не полностью потушенные пожары, утилизация отходов, способных вступать в экзотермические реакции, самонагревание, самовозгорание, пиролиз и тление.

Опираясь на исследования [2, 6, 7], можно выделить пути распространения опасных процессов, связанных с повышением температуры на полигонах (рис. 1). Эти процессы характеризуют изменения в поведении полигона и переходе от нормальных условий эксплуатации на стадии анаэробного разложения отходов к условиям повышенных температур, снижению выработки метана и термической деструкции отходов.



Рис. 1. Пути распространения опасных процессов на полигонах ТКО

Процессами термической деструкции, характерными для свалок ТКО при повышенных температурах, являются тление, горение и пиролиз (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика процессов термической деструкции полигонов ТКО

Процесс	Сущность процесса	Возможность одновременного протекания процессов в теле полигона	Условия прекращения процесса	Факторы, влияющие на продолжительность процесса
Тление	Медленная, низкотемпературная, беспламенная форма горения, поддерживается за счет тепла, выделяемого при непосредственном воздействии кислорода на поверхность частиц ТКО	Тлеющее горение и пиролиз могут происходить одновременно, так как продукты пиролиза окисляются при сгорании	При прекращении тления в случае недостатка кислорода, пиролиз может продолжаться в течение длительного времени, если сохраняется достаточное количество тепла	Достижимые значения температуры, местоположение и размер эпицентра повышенной температуры в массе отходов, присутствие воздуха
Пиролиз	Термическое разложение органических и ряда неорганических соединений без доступа воздуха. Эндотермический процесс			
Пламенное горение	Горение веществ и материалов, сопровождающееся пламенем	Наличие доступа воздуха определяет переход от тления к пламенному горению	Снижение температуры и (или) концентрации кислорода. Полное выгорание	

Зонирование полигонов захоронения отходов

Предлагается разделить полигон захоронения отходов на пять зон, характеризующихся повышенной температурой, классифицированных по биологическим и физико-химическим процессам: 1) анаэробное разложение; 2) газовый фронт; 3) температурный фронт; 4) фронт тления; 5) зона горения/пиролиза (рис. 2).

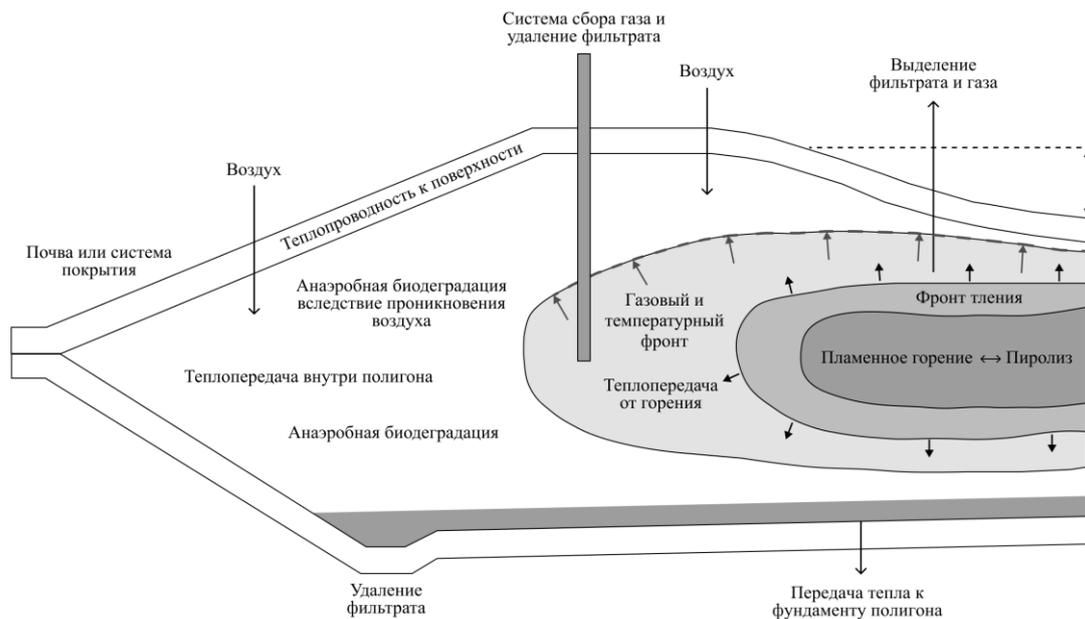


Рис. 2. Схема зон полигона захоронения отходов

Газовый и температурный фронты расположены между анаэробным разложением и фронтом тления и характеризуются изменениями температуры устья скважины и состава газа (уменьшение соотношения $[\text{CH}_4]/[\text{CO}_2]$). Температурный фронт прилегает к источнику тепла, за ним следует фронт тления, являющийся движущей силой повышения температуры. В процессе тления выделяются газы и тепло, которое может быть передано путем теплопроводности (при непосредственном контакте между частицами ТКО) и конвекции (при движении жидкости или газа) на другие участки полигона. Тепло, выделяющееся от фронта тления, может вызвать пиролиз ТКО, что приводит к увеличению объемов газа и водяного пара, выделению токсичных и пахнущих газов и чрезмерному осаждению. Конвекция заставляет горячий и насыщенный газ подниматься вверх, где он вступает в контакт с более холодными отходами. Водяной пар конденсируется с образованием фильтрата, который может накапливаться и повышать уровень жидкости между поверхностью грунта и фронтом тления, просачиваться в более холодные отходы на полигоне или поступать в систему сбора фильтрата.

Система индикаторов для определения пожароопасных состояний полигонов ТКО

Фронты газа, температуры и тления фиксируются с помощью системы индикаторов и могут использоваться для определения местоположения, границы и подповерхностного перемещения фронта повышенных температур. Основными параметрами, используемыми для оценки зон захоронения отходов, являются: состав и температура устья газовой скважины, температура подповерхностного слоя, скорость деформации [6, 7].

Подповерхностные температуры являются наиболее точными, поскольку они иллюстрируют размеры и миграцию температурного фронта во времени и могут подтвердить состав газа. Газами, концентрацию которых целесообразно использовать для оценки зон захоронения отходов, являются CH_4 , CO_2 , O_2 и CO (табл. 3). В связи с важностью кислорода для образования горячих точек рекомендуется в качестве индикатора негативных процессов на свалке использовать концентрации кислорода от 1 до 10 % об. [6, 7].

Таблица 3. Система индикаторов для определения пожароопасных состояний полигонов ТКО [2, 6–8]

Зона	Температура, °С		$[\text{CH}_4]/[\text{CO}_2]$	[CO], Ppmv	[O ₂] % об.	Примечание
	в устье скважины	подповерхностная				
Аэробное разложение	< 80	≤ 90	–	–	> 2	Процесс не рассматривается в качестве исходных условий на полигоне
Анаэробное разложение	< 65	≤ 80	≥ 1	< 20	< 1,5	Процесс представляет исходные условия на полигоне до воздействия повышенных температур
Газовый фронт	40–55	50–70	Уменьшение до 0,8	Увеличение от 0 до 400	> 1	Область повышенной температуры может оставаться неподвижной до тех пор, пока проникновение воздуха или другой триггер не вызовет тлеющее горение и не расширит границы фронта

Зона	Температура, °С		[CH ₄]/ [CO ₂]	[CO], Ppmv	[O ₂] % об.	Примечание
	в устье скважины	подповерхностная				
Температурный фронт	50–55	65–75	Уменьшение с 0,8 до 0,6	Увеличение от 400 до 800	> 1	Уменьшение соотношения [CH ₄]/[CO ₂] до 0,3 наблюдается до повышения температуры устья скважины
	55–65	70–85	Уменьшение с 0,6 до 0,1	Увеличение от 800 до 1 200	> 1	
	65–90	80–110	< 0,1	Увеличение от 1 200 до 1 500	> 1	
Фронт тления	> 65	> 80	< 0,2	≥ 1 500	0,7–3,3	Определение подповерхностных температур, указывающих на тлеющее горение, затруднено из-за неоднородности состава ТКО, их изоляционных свойств, наличия влаги и доступного кислорода в массе отходов
Зона пиролиза	≥ 170	≥ 190	< 0,1	≥ 1 000	0,7–11,0	Возможно снижение температуры вследствие эндотермичности процесса, что затрудняет использование температуры как индикатора
Зона горения	≥ 170	≥ 190 Повышение температуры во времени	< 0,1	≥ 1 000	0,7–11,0	Различие между горением и пиролизом может быть выявлено по изменению температуры во времени. При горении температура значительно повышается

По результатам измерения температур и концентраций на полигоне строятся контурные графики (рис. 3), позволяющие визуализировать полученные данные.

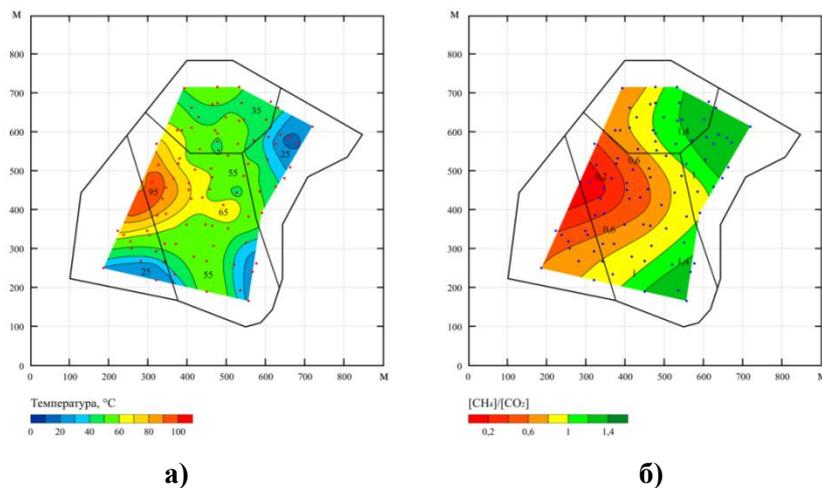


Рис. 3. Контурные графики, построенные для полигона ТКО по результатам измерений в устье газовой скважины: а) температуры; б) соотношения концентраций

Температура устья скважины выше 65 °С является первым сигналом повышенных температур. Температуры, превышающие 80 °С, можно отнести к опасным, и их достижение сигнализирует о высокой вероятности возникновения и распространения горения на полигоне (рис. 3 а – красный цвет). Однако температуру устья скважины следует сопоставлять с концентрацией кислорода. Например, в результате проникновения воздуха может наблюдаться резкое падение температуры, что, вероятно, является результатом проникновения воздуха в устьевую трубу из-за ее трещин и разрывов. При попадании воздуха в нагретые отходы возможен переход к аэробному разложению и/ или горению, что способно вызвать еще большее повышение температуры.

В работе [7] соотношение концентраций $[CH_4]/[CO_2]$ определяется как более информативное по отношению к изменению температуры. Соотношение $[CH_4]/[CO_2]$ не зависит от изменения $[O_2]$. Значения ниже 0,6 (рис. 3 б) выделены красным цветом, что означает уменьшение выработки метана. На противоположном конце спектра коэффициенты, превышающие единицу (1,0), заштрихованы зеленым цветом, что говорит о выработке метана и нормальных условиях эксплуатации полигона. Контуры, которые показывают тенденцию к снижению коэффициента от 1,0 до 0,6, окрашены в желтый цвет для предупреждения об опасности.

Определение границы фронта тления затруднено, поскольку показателем неполного сгорания на свалках является СО, который может быть обнаружен в газовом фронте из-за конвекции газа [9, 10]. В предлагаемой схеме [7] фронт тления определяется концентрациями СО, температурой под поверхностью и осаждением отходов. Тлеющее горение также может развиваться при относительно низких температурах. Однако измерение подповерхностных температур, указывающих на тлеющее горение, затруднено из-за неоднородности состава твердых бытовых отходов (ТБО), содержания влаги, изоляционных свойств ТКО и наличия доступного кислорода в массе отходов.

Переход от фронта тления к зоне горения/пиролиза может быть определен по изменению скорости деформации. Скорость деформации более 3 %/год означает переход от тлеющего горения к пиролизу.

Заключение

Источники выделения тепла, вызывающие повышенные температуры, включают аэробное разложение, самовозгорание, экзотермические химические реакции и тлеющее горение.

В качестве индикаторов для определения пожароопасных состояний полигонов ТКО предлагается использовать состав и температуру устья газовой скважины, температуру подповерхностного слоя, скорость деформации. Газами, концентрацию которых целесообразно контролировать для оценки зон захоронения отходов, являются CH_4 , CO_2 , O_2 и СО.

Процессы, приводящие к развитию горения на полигоне, характеризуются температурами более 65 °С, уменьшением соотношения $[CH_4]/[CO_2]$ ниже 1, увеличением концентрации СО выше 20 ppmv и увеличением концентрации O_2 до значений от 1 до 10 %. Протекание процесса термического разложения отходов дополнительно подтверждается изменением скорости деформации >3 %/год.

Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: стат. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
2. Moqbel S. Characterizing spontaneous fires in landfills: Ph. D. thesis. USA: University of Central Florida, Orlando, 2009. 102 p.
3. Determination of ignition temperature of municipal solid waste for understanding surface and sub-surface landfill fire / D. Chavan [et al.] // Waste Management. 2019. Vol. 97. P. 123–130.

4. Specific heat and thermal conductivity of municipal solid waste and its effect on landfill fires / G.S. Manjunatha [et al.] // *Waste Management*. 2020. Vol. 116. P. 120–130.
5. Экспериментальное исследование состава твердых коммунальных отходов / И.Р. Хасанов [и др.] // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2021. № 2 (39).
6. Jafari N.A., Stark T.D., Thalhamer T. Spatial and temporal characteristics of elevated temperatures in municipal solid waste landfills // *Waste Management*. 2017. Vol. 59. P. 286–301.
7. Copping S., Quinn C., Gregory R. Review and Investigation of deep-seated fires within landfill sites // *Environment Agency*. 2007. 83 p.
8. Бабаев В.Н., Горох Н.П., Коринько И.В. Энергетический потенциал метанообразования при мезофильном анаэробном разложении органической составляющей отходов // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2011. № 6 (52).
9. Geophysical-geochemical investigation of fire-prone landfills / V. Frid [et al.] // *Environ. Earth Sci*. 2010. Vol. 60 (4). P. 787–798.
10. Detection of aluminum waste reactions and associated waste fires / J.W. Martin [et al.] // *Journal of Hazardous, Toxic & Radioactive Waste*. 2013. Vol. 17 (3). P. 164–174.

References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: stat. sb. Balashiha: FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2022. 114 s.
2. Moqbel S. Characterizing spontaneous fires in landfills: Ph. D. thesis. USA: University of Central Florida, Orlando, 2009. 102 p.
3. Determination of ignition temperature of municipal solid waste for understanding surface and sub-surface landfill fire / D. Chavan [et al.] // *Waste Management*. 2019. Vol. 97. R. 123–130.
4. Specific heat and thermal conductivity of municipal solid waste and its effect on landfill fires / G.S. Manjunatha [et al.] // *Waste Management*. 2020. Vol. 116. R. 120–130.
5. Eksperimental'noe issledovanie sostava tverdyh kommunal'nyh othodov / I.R. Hasanov [i dr.] // *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*. 2021. № 2 (39).
6. Jafari N.A., Stark T.D., Thalhamer T. Spatial and temporal characteristics of elevated temperatures in municipal solid waste landfills // *Waste Management*. 2017. Vol. 59. P. 286–301.
7. Copping S., Quinn S., Gregory R. Review and Investigation of deep-seated fires within landfill sites // *Environment Agency*. 2007. 83 p.
8. Babaev V.N., Goroh N.P., Korin'ko I.V. Energeticheskij potencial metanoobrazovaniya pri mezofil'nom anaerobnom razlozhenii organicheskoy sostavlyayushchej othodov // *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij*. 2011. № 6 (52).
9. Geophysical-geochemical investigation of fire-prone landfills / V. Frid [et al.] // *Environ. Earth Sci*. 2010. Vol. 60 (4). P. 787–798.
10. Detection of aluminum waste reactions and associated waste fires / J.W. Martin [et al.] // *Journal of Hazardous, Toxic & Radioactive Waste*. 2013. Vol. 17 (3). P. 164–174.

Информация об авторах:

Королева Людмила Анатольевна, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: koroleva.l@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5661-5774>

Подмарков Владимир Валентинович, доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: podmarkov.v@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9278-1104>

Хайдаров Андрей Геннадьевич, генеральный директор ООО «Аналитические системы» (191036, Санкт-Петербург, 3-я Советская улица, д. 7, пом. 5н), кандидат технических наук, доцент, e-mail: andreyhaydarov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0693-8027>

Information about the authors:

Koroleva Lyudmila A., professor of the department of fire, rescue equipment and automobile economy of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: koroleva.l@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5661-5774>

Podmarkov Vladimir V., associate professor of the department of fire, rescue equipment and automobile economy of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: podmarkov.v@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9278-1104>

Khaydarov Andrey G., general director of the Limited Liability Company «Analytical systems» (191036, Saint-Petersburg, 3rd Sovetskaya Street, 7, room 5n), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: andreyhaydarov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0693-8027>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 07.10.2022; одобрена после рецензирования: 24.10.2022; принята к публикации: 25.10.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 07.10.2022; approved after review: 24.10.2022; accepted for publication: 25.10.2022

Научная статья

УДК 614.84

ОСОБЕННОСТИ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА К ПЛАНИРОВАНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ (НАДЗОРНЫХ) МЕРОПРИЯТИЙ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

✉ Фомин Александр Викторович;

Хорошев Андрей Александрович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ fomin.a@igps.ru

Аннотация. Рассмотрена возможность оптимизации деятельности по осуществлению федерального государственного пожарного надзора в части периодичности осуществления контрольных (надзорных) мероприятий в отношении производственных объектов путем использования коэффициента, учитывающего наличие расчетов по оценке пожарного риска.

Расчетное значение пожарного риска предлагается в качестве критерия, определяющего частоту осуществления контрольных (надзорных) мероприятий в отношении производственного объекта.

Показано, что размерная величина пожарного риска логически сопряжена со значениями индикаторов риска причинения вреда (ущерба) в области пожарной безопасности, определяемых для производственных объектов.

Ключевые слова: контрольные (надзорные) мероприятия, пожарный риск, пожарная безопасность, производственные объекты, пожарный надзор, риск-ориентированный подход

Для цитирования: Фомин А.В., Хорошев А.А. Особенности риск-ориентированного подхода к планированию контрольных (надзорных) мероприятий в области пожарной безопасности на производственных объектах // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 40–47.

FEATURES OF A RISK-BASED APPROACH TO PLANNING CONTROL (SUPERVISORY) MEASURES IN THE FIELD OF FIRE SAFETY AT PRODUCTION FACILITIES

✉ Fomin Alexander V.;

Khoroshev Andrey A.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ fomin.a@igps.ru

Abstract. The possibility of optimizing the activities for the implementation of federal state fire supervision in terms of the frequency of implementation of control (supervisory) measures in relation to production facilities by using a coefficient that takes into account the availability of fire risk assessment calculations is considered.

The calculated value of fire risk is proposed as a criterion determining the frequency of control (supervisory) measures in relation to the production facility.

It is shown that the size of the fire risk is logically associated with the values of indicators of the risk of causing harm (damage) in the field of fire safety, determined for production facilities.

Keywords: control (supervisory) measures, fire safety, fire risk, production facilities, fire supervision, risk-based approach

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

For citation: Fomin A.V., Khoroshev A.A. Features of a risk-based approach to planning control (supervisory) measures in the field of fire safety at production facilities // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 40–47.

Введение

В результате реализации мероприятий государственной политики и реформы контрольной (надзорной) деятельности в области обеспечения пожарной безопасности федеральный государственный пожарный надзор (ГПН) претерпел значительные изменения, наиболее ярким из которых следует отметить внедрение риск-ориентированного подхода при планировании контрольных (надзорных) мероприятий за соблюдением обязательных требований.

Стоит отметить, что модель риск-ориентированного подхода к обеспечению безопасности на основе индивидуальности объекта защиты является моделью, отвечающей современному уровню необходимости обеспечения государственного внимания к вопросам безопасности. Появление математического принципа определения риска как суммы опасностей, а равно и значений данной опасности озаменовано работами Паскаля в XVII в. во Франции [1], а сегодня как понятийный аппарат содержится в европейском нормативном словаре [2]. Применение подходов к пониманию риска на такой основе можно отметить в иных государствах. В Германии аналог такого подхода проявляется в концепциях противопожарной защиты объектов, на которых невозможно выполнить отдельные требования пожарной безопасности [3], а система градации степени пожарной опасности от низкой до экстремальной (схожей с категориями риска в Российской Федерации) применяется в США в качестве национальной системы оценки пожарной опасности (NFDRS), обеспечивающей измерения относительной серьезности условий горения и угрозы лесных пожаров [4].

Очевидно, что государственное внимание к безопасности объекта защиты целесообразно уделять исходя из уровня опасности, представляемой объектом защиты. Вместе с этим возникает проблема идентификации степени угрозы для жизни и здоровья людей, имущественного комплекса третьих лиц, исходящей от объекта защиты. В соответствии с требованиями постановления Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2012 г. № 290 «О федеральном государственном пожарном надзоре» (Положение о федеральном ГПН [5]) такая идентификация осуществляется посредством реализации математических соотношений, тесно связанных с введенными значениями – индикатором риска причинения вреда и критерием добросовестности.

Одновременно с этой мерой, определяющей возможность появления пожарной опасности объекта защиты для людей и материальных ценностей, Федеральный закон от 22 июля 2002 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (Технический регламент) [6] определяет пожарный риск. В настоящей статье предлагается рассмотреть пожарный риск как критерий, определяющий частоту осуществления контрольных (надзорных) функций в отношении производственного объекта.

Методы исследования

Исследование вопроса риск-ориентированного подхода осуществлялось теоретическим путем с использованием аксиоматического метода, при котором аксиомой принималась существующая математическая модель определения показателя тяжести потенциальных негативных последствий пожаров, анализа для исследования составляющих модели и синтеза для изложения готового результата в виде формулы индекса индивидуализации.

Исследование

Для определения категории риска используется математическая модель, представленная в научном труде [7].

Законодательством о техническом регулировании в области пожарной безопасности предусмотрены следующие виды пожарных рисков для производственных объектов:

1) индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях, а также территориях производственного объекта должен составлять не больше чем одна миллионная в год либо при соблюдении условий наличия мер по обучению персонала производственного объекта действиям при аварии, сопровождающейся пожаром, а также социальной защите работников предприятия, которая будет компенсировать труд, сопровождающийся повышенным риском, законодатель допускает повышение величины такого риска, но не более чем одна десятитысячная в год;

2) индивидуальный пожарный риск, вызванный опасными факторами пожара, возникшего на предприятии производственного назначения, влияющими на безопасность человека, находящегося либо в зоне рекреации в непосредственной близости от объекта, либо в зоне проживания (жилой зоне), либо в зоне осуществления общественно-деловой деятельности, который должен быть не выше одной стомиллионной в год. По аналогии с предыдущим видом пожарного риска, данный риск также допускается повышать в 10 раз (если, конечно, иначе невозможно или нецелесообразно осуществлять технологический процесс ввиду его особенностей). При этом люди имеют право на оповещение соответствующими средствами о пожаре на производственном объекте и социальную защиту. На предприятии, где такая величина данного вида пожарного риска установлена, следует предусмотреть дополнительные инженерно-технические и организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности людей.

3) социальный пожарный риск, обуславливающий пожарную опасность для людей, находящихся в зонах рекреации в непосредственной близости от объекта, зоны проживания, общественно-деловой деятельности, не должен быть больше чем одна десятимиллионная в год.

Таким образом, очевидно, что Техническим регламентом установлены правовые условия для объективной оценки пожарной опасности производственных объектов. Для повышения объективности оценки пожарной опасности объекта следует определить необходимую периодичность контрольных (надзорных) мероприятий, целесообразно решить задачу правового сопряжения показателей размерных величин пожарного риска производственных объектов с правовым механизмом, определяющим частоту проверочных функций государства, в рамках деятельности по осуществлению федерального ГПН. Действующими нормативными правовыми актами размерные величины пожарного риска на производственных объектах при определении периодичности проведения контрольных (надзорных) мероприятий не учитываются.

Для решения указанной задачи следует отметить, что для определения периодичности проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий имеют значение шесть категорий рисков: чрезвычайно высокого, высокого, значительного, среднего, умеренного и низкого [5]. Правовой основой исключения плановых контрольных (надзорных) мероприятий в отношении объекта защиты служит категория низкого риска. Принадлежность к каждой из указанных категорий риска определяется исходя из расчетного значения показателя тяжести потенциальных негативных последствий пожаров, который математически выражается отношением ожидаемого риска негативных последствий пожаров в отдельно взятой группе объектов защиты к допустимому риску негативных последствий пожаров.

Допустимый риск негативных последствий пожаров зависит от требуемой величины пожарного риска, но лишь той, которая определена ст. 79 Технического регламента. При этом правовая область применения указанной статьи – объекты непромышленного назначения. Следовательно, в основе порядка определения категории риска для производственных объектов заложено применение норм права, не подлежащих применению. Помимо этого производственные объекты, как указано выше, должны отвечать трем видам

пожарного риска, однако Положение о федеральном ГПН не учитывает требования Технического регламента при отнесении производственных объектов к определенной категории риска. Более того, при очевидной необходимости учета фактического значений размерных величин пожарного риска, в случае если на предприятии проведены работы по их определению, при отнесении объекта защиты к какой-либо категории риска такой критерий сегодня не учитывается. Исключение указанных допущений повысит адекватность государственного внимания в рамках федерального ГПН к производственным объектам.

Так, при определении показателя тяжести потенциальных негативных последствий пожаров допустимый риск негативных последствий, имеющий математический вид:

$$Q_{C\text{доп}} = \frac{D_{\text{доп}} \times N_{\text{нас}} \times (N_{\Gamma} + N_{\Gamma})}{N_{\text{об}} \times N_{\Gamma}}$$

содержит в себе показатель величины индивидуального пожарного риска $D_{\text{доп}}$, который принимается в соответствии со ст. 79 Технического регламента. Вместе с этим для объектов производственного назначения $D_{\text{доп}}$ целесообразно принимать поочередно значение из определенных ст. 93 Технического регламента:

$$D_{\text{доп}} = \{D_{\text{доп}}^{\text{изт}}, D_{\text{доп}}^{\text{иж}}, D_{\text{доп}}^{\text{соц}}\},$$

где $D_{\text{доп}}^{\text{изт}}$ – допустимый индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях, а также на территориях производственного объекта; $D_{\text{доп}}^{\text{иж}}$ – допустимый индивидуальный пожарный риск, вызванный опасными факторами пожара, возникшего на предприятии производственного назначения, влияющими на безопасность человека, находящегося либо в зоне рекреации в непосредственной близости от объекта, либо зоне проживания (жилой зоне), либо в зоне осуществления общественно-деловой деятельности; $D_{\text{доп}}^{\text{соц}}$ – допустимый социальный пожарный риск.

Указанный подход позволит учесть положения Технического регламента в части его особенностей в отношении производственных объектов.

Относительно учета фактического показателя размерной величины пожарного риска для производственного объекта целесообразно учесть данную размерную величину пожарного риска, если работа по определению расчета пожарного риска на объектах защиты производственного объекта проводилась. Стоит отметить, что указанный показатель гармонично вписывается в показатель тяжести потенциальных негативных последствий пожаров, учитывающий индекс индивидуализации подконтрольного лица, будет иметь вид суммы математического отношения ожидаемого риска негативных последствий пожаров по группе объектов защиты к допустимому риску негативных последствий и индекса индивидуализации, то есть:

$$K_{\Gamma.Т.инд} = \frac{Q_C}{Q_{C\text{доп}}} + U_{\text{инд}}$$

Данный показатель для производственных объектов можно представить в более совершенной форме:

$$K_{\Gamma.Т.}^{\text{п.о.}} = \frac{Q_C}{Q_{C\text{доп}}} + \frac{U_{\text{инд}} \times D_{\Phi}}{D_{\text{доп}}}$$

где D_{Φ} – фактическая величина соответствующего принятому для определения показателя тяжести потенциальных негативных последствий пожаров вида пожарного риска, рассчитанная для отдельно взятого объекта защиты производственного объекта по утвержденной в установленном порядке методике.

При этом, упрощая вычисления, следует разбить указанную выше формулу, с приведением ее к виду:

$$K_{\text{Г.Т.}}^{\text{П.О.}} = \frac{Q_c}{Q_{\text{Сдоп}}} + U_{\text{инд}} \times K_{\phi},$$

где K_{ϕ} – коэффициент тяжести фактических негативных последствий пожаров, определенный как максимальное значение отношений соответствующих фактических и допустимых величин пожарного риска, то есть:

$$K_{\phi} = \max\{K_{\phi}^{\text{изт}}, K_{\phi}^{\text{иж}}, K_{\phi}^{\text{соц}}\},$$

где $K_{\phi}^{\text{изт}}$ – фактический индивидуальный пожарный риск (в здании, сооружении либо на территории производственного объекта); $K_{\phi}^{\text{иж}}$ – фактический индивидуальный пожарный риск, вызванный опасными факторами пожара, возникшего на предприятии производственного назначения, влияющими на безопасность человека, находящегося либо в зоне рекреации в непосредственной близости от объекта, либо зоне проживания (жилой зоне), либо в зоне осуществления общественно-деловой деятельности; $K_{\phi}^{\text{соц}}$ – фактический социальный пожарный риск, определенный из соотношения:

$$K_{\phi}^{(\text{изт, иж, соц})} = \frac{D_{\phi}^{(\text{изт, иж, соц})}}{D_{\text{доп}}^{(\text{изт, иж, соц})}}.$$

Логичность указанного подхода заключается в том, что даже при наличии людей в селитебной зоне, но в условиях отсутствия при пожаре недопустимого значения пожарного риска, гибкость предложенного подхода позволит учесть уровень негативных последствий пожара для этих людей или отдельно взятого человека.

Например, если требуемая величина пожарного риска составляет 10^{-5} , при этом фактически определена расчетная величина пожарного риска $5 \cdot 10^{-6}$, то предлагаемый подход справедливо снизит показатель тяжести негативных последствий пожара с учетом индекса индивидуализации подконтрольного лица в два раза, позволяя при этом присвоить объекту защиты производственного объекта более низкую категорию риска, а значит, снизить частоту осуществления федерального ГПН на объекте, где величина пожарного риска не превышает допустимых значений. По принципу обратной аналогии предлагаемая система работает и в иную сторону – если пожарный риск превышен, то кратно превышению возрастет и тяжесть негативных последствий пожара.

Размерная величина пожарного риска логически сопряжена со значениями индикаторов риска причинения вреда (ущерба), определяемых для производственных объектов, а также для наружных установок, и совершенно не касается вопросов, которые раскрыты в критериях добросовестности, приведенных в приложении 4 Положения о федеральном ГПН.

Таким образом, образованный коэффициент следует применять в качестве множителя к сумме учтенных индикаторов риска причинения вреда (ущерба) при определении индекса индивидуализации лица. То есть фактически предлагается совершенствование математической модели, используемой при определении категории риска объекта защиты производственного объекта (наружной установки) путем изменения существующей формулы индекса индивидуализации подконтрольного лица:

$$U_{\text{инд}} = \sum_{j=1}^M I_{\text{рпв}} + \sum_{i=1}^N I_{\text{крд}}. \quad (1)$$

Как видно из приведенной формулы значения индикаторов риска причинения вреда, в частности, наличия на объекте защиты вертикальных связей, служащих для распространения опасных факторов пожара (открытые лестницы, многосветные пространства), возраст систем противопожарной защиты, категория объекта защиты по пожарной и взрывопожарной

опасности и прочих просто складываются, при этом степень их влияния на безопасность людей не учтена. Но будет ли иметь значение при решении вопроса о частоте контрольных (надзорных) мероприятий то, что, например, система приточно-вытяжной противодымной вентиляции, смонтированная на объекте защиты более 10 лет назад, не подвергалась капитальному ремонту, если к этому нет показаний, а ее работоспособность подтверждена соответствующими протоколами испытаний? Или насколько значим вопрос наличия, например, открытой лестницы, если до наступления критических значений опасных факторов пожара, в различных сценариях его проявления, люди, находящиеся в этом здании, успевают его покинуть до наступления критических значений опасных факторов пожара даже с учетом инерционности систем противопожарной защиты и коэффициента безопасности? Вопросы такого же характера возникают и при исследовании влияния факта наличия людей в селитебной зоне близи производственного объекта, наличия маломобильных групп населения на периодичность проведения контрольных (надзорных) мероприятий.

Заключение

Взамен существующей формулы (1), более справедливо соотношение для определения индекса по выражению:

$$U_{\text{инд}} = \sum_{j=1}^M I_{\text{рпв}} \cdot K_{\text{ф}} + \sum_{i=1}^N I_{\text{крд}}$$

Однако, как ранее указывалось в публикациях [8–10], организационная задача по установлению периодичности либо процедуры контрольного (надзорного) мероприятия главным образом заключается в определении необходимого (на некоторый период времени) баланса, равновесия между требовательностью государства к хозяйствующим субъектам и предпринимательскими свободами, поскольку избыточное внимание надзорных органов «...приведет к процессу стагнации экономического развития государства», а «...ошибочная идентификация объекта защиты приведет либо к применению избыточных требований пожарной безопасности, либо к упущению внимания на значимые элементы системы противопожарной защиты объекта», в том числе охраняемым государством интересам, что также недопустимо.

Для достижения точности в совершенствовании существующей системы определения периодичности проведения контрольных (надзорных) мероприятий в отношении производственных объектов необходимо применить коэффициент в качестве множителя исключительно к тем значениям индикаторов риска, которые имеют значение при определении расчетной величины пожарного риска по утвержденным в установленном порядке методикам [11, 12]. К таким индикаторам следует отнести индикаторы, отраженные в п. 1 (для зданий IV и V степеней огнестойкости), 2–7, 10 таблицы приложения № 2 Положения о федеральном ГПН.

Таким образом, применение предлагаемого коэффициента, безусловно, повышает объективность оценки производственного объекта, обеспечивая необходимую точность при определении категории риска, и положительно сказывается на оптимизации деятельности органов ГПН.

Список источников

1. French Wikipedia. URL: https://fr.wikipedia.org/wiki/Risque#cite_note-20 (дата обращения: 15.06.2022).
2. ISO Guide 73:2009 Risk management – Vocabulary // ISO: международная организация по стандартизации. URL: <https://www.iso.org/standard/44651.html> (дата обращения: 15.06.2022).

3. Brandschutzkonzepte heute: Individuell, schutzzielorientiert, ökonomischam Beispiel des Neubauprojekts der Sparkasse Ulm.: Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg) // Haw Hamburg.

URL: https://reposit.haw-hamburg.de/bitstream/20.500.12738/6171/1/lsab13_52_BA_MT.pdf (дата обращения: 15.06.2022).

4. Gaining and understanding of the National Fire Danger Rating System // National website portal. URL: https://gacc.nifc.gov/rmcc/predictive/nfdrs_gaining_understanding.pdf (дата обращения: 15.07.2022).

5. О федеральном государственном пожарном надзоре: постановление Правительства Рос. Федерации от 12 апр. 2012 г. № 290. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

6. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

7. Зобков Д.В., Порошин А.А., Кондашов А.А. Модель отнесения объектов защиты к определенной категории риска в области пожарной безопасности // Технологии техносферной безопасности. 2020. Вып. 4 (90). С. 19–31.

8. Хорошев А.А., Фомин А.В. Современные требования пожарной безопасности к огнестойкости объектов защиты // Пожарная безопасность объектов капитального строительства. Нормативы, проектирование, устройство и эксплуатация: сб. трудов конф. СПб., 2021. С. 76–79.

9. Хорошев А.А., Фомин А.В. Исследование способов идентификации наружных установок по пожарной опасности // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы, мониторинг, предотвращение и ликвидация чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: науч.-практ. конф. СПб., 2021. С. 111–114.

10. Хорошев А.А., Фомин А.В. К вопросу идентификации производственных объектов по взрывопожарной и пожарной опасности // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Железногорск, 2021. С. 242–246.

11. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 (в ред. от 14 дек. 2010 г.) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902167776> (дата обращения: 11.12.2021).

12. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 (в ред. от 2 дек. 2015 г.) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902167776> (дата обращения: 11.12.2021).

References

1. French Wikipedia. URL: https://fr.wikipedia.org/wiki/Risque#cite_note-20 (data obrashcheniya: 15.06.2022).

2. ISO Guide 73:2009 Risk management – Vocabulary // ISO: mezhdunarodnaya organizaciya po standartizacii. URL: <https://www.iso.org/standard/44651.html> (data obrashcheniya: 15.06.2022).

3. Brandschutzkonzepte heute: Individuell, schutzzielorientiert, ökonomischam Beispiel des Neubauprojekts der Sparkasse Ulm.: Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg) // Haw Hamburg.

URL: https://reposit.haw-hamburg.de/bitstream/20.500.12738/6171/1/lsab13_52_BA_MT.pdf (data obrashcheniya: 15.06.2022).

4. Gaining and understanding of the National Fire Danger Rating System // National website portal. URL: https://gacc.nifc.gov/rmcc/predictive/nfdrs_gaining_understanding.pdf (data obrashcheniya: 15.07.2022).

5. O federal'nom gosudarstvennom pozharanom nadzore: postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 12 apr. 2012 g. № 290. Dostup iz inf.-pravovogo portala «Garant».

6. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

7. Zobkov D.V., Poroshin A.A., Kondashov A.A. Model' otneseniya ob"ektov zashchity k opredelennoj kategorii riska v oblasti pozharnoj bezopasnosti // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2020. Vyp. 4 (90). S. 19–31.

8. Horoshev A.A., Fomin A.V. Sovremennye trebovaniya pozharnoj bezopasnosti k ognestojkosti ob"ektov zashchity // Pozharnaya bezopasnost' ob"ektov kapital'nogo stroitel'stva. Normativy, proektirovanie, ustrojstvo i ekspluataciya: sb. tr. konf. SPb., 2021. S. 76–79.

9. Horoshev A.A., Fomin A.V. Issledovanie sposobov identifikacii naruzhnyh ustanovok po pozharnoj opasnosti // Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy, monitoring, predotvrashchenie i likvidaciya chrezvychajnyh situacij prirodno i tekhnogenno go haraktera: nauchno-prakticheskoy konferenciya. SPb., 2021. S. 111–114.

10. Horoshev A.A., Fomin A.V. K voprosu identifikacii proizvodstvennyh ob"ektov po vzryvopozharnoj i pozharnoj opasnosti // Vseros. nauch.-prakt. konf. Zheleznogorsk, 2021. S. 242–246.

11. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah: prikaz MCHS Rossii ot 10 iyulya 2009 g. № 404 (v red. ot 14 dek. 2010 g.) // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii.

URL: <https://docs.cntd.ru/document/902167776> (data obrashcheniya: 11.12.2021).

12. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska v zdaniyah, sooruzheniyah i stroeniyah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti: prikaz MCHS Rossii ot 30 iyunya 2009 g. № 382 (v red. ot 2 dek. 2015 g.) // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902167776> (data obrashcheniya: 11.12.2021).

Информация об авторах:

Фомин Александр Викторович, профессор кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, e-mail: fomin.a@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6093-1446>

Хорошев Андрей Александрович, заместитель начальника отдела нормативно-технического управления надзорной деятельности и профилактической работы Главного управления МЧС России по Новосибирской области; адъюнкт кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: andrey.horoshev@list.ru

Information about authors:

Fomin Alexander V., professor of the department of supervisory activities of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, e-mail: fomin.a@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6093-1446>

Khoroshev Andrey A., deputy head of the department of regulatory and technical management of supervisory activities and preventive work of the Main directorate of EMERCOM of Russia in the Novosibirsk Region; adjunct of the department of supervisory activities of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: andrey.horoshev@list.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 08.11.2022; одобрена после рецензирования: 16.11.2022; принята к публикации: 17.11.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 08.11.2022; approved after review: 16.11.2022; accepted for publication: 17.11.2022

Научная статья

УДК 621.18

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЗОВ, ЖИДКОСТЕЙ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ

✉ **Лабинский Александр Юрьевич.**

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ *Labinsciy@yandex.ru*

Аннотация. Представлено компьютерное моделирование процесса расчета теплофизических свойств системы «пар-вода», промышленных газов (воздух, чистые газы, фреоны) и конструкционных материалов (теплопроводность стали, чугуна, титана, алюминия, латуни, меди и бронзы).

Подробно рассмотрены теплофизические свойства системы «пар-вода» для следующих состояний: вода, насыщенная вода, насыщенный пар и перегретый пар. Разработана компьютерная модель расчета теплофизических свойств, реализованная в виде программы для ЭВМ. Результаты расчетов теплофизических свойств выводятся в окно программы и в файл на диске, а также могут быть представлены в графическом виде.

Рассмотрены теплофизические свойства промышленных газов, включая воздух, азот, аргон, гелий, фреон-12, фреон-21, фреон-22 и фреон-114. Разработана компьютерная модель расчета теплофизических свойств (давление, температура и энтальпия насыщения, удельный объем, теплопроводность, динамическая и кинематическая вязкость, теплоемкость, теплопроводность), реализованная в виде программы для ЭВМ. Результаты расчетов теплофизических свойств выводятся в окно программы и в файл на диске.

Приведен расчет теплопроводности сплавов стали, титана, алюминия, латуни, меди и бронзы. Разработана компьютерная модель расчета теплопроводности, реализованная в виде программы для ЭВМ. Результаты расчетов теплопроводности выводятся в окно программы и могут быть представлены в графическом виде.

Ключевые слова: теплофизические свойства, водяной пар, вода, промышленные газы, теплопроводность, конструкционные материалы, математическая модель, программа для ЭВМ

Для цитирования: Лабинский А.Ю. К вопросу расчета теплофизических свойств газов, жидкостей и твердых тел // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 48–54.

THE PROBLEM OF CALCULATIONS THE HEAT-PHYSICAL PROPERTIES OF THE GAS, LIQUIDS AND SOLID BODY

✉ **Labinsky Alexander Yu.**

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ *Labinsciy@yandex.ru*

Abstract. The article considers computer modeling of calculation process of thermal-physical properties of the system «steam-water», industrial gases (air, pure gases, freons) and structural materials (thermal conductivity of steel, cast iron, titanium, aluminum, brass, copper and bronze). Thermal-physical properties of «steam-water» system for the following states are considered in detail: water, saturated water, saturated steam and superheated steam. The article develops a computer model of calculation of thermophysical properties, realized in the form of the program

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

for computers. The results of the calculation of thermophysical properties are displayed in the program window and in a file on the disk, and can also be represented in graphic form.

The thermal properties of industrial gases, including air, nitrogen, argon, helium, freon-12, freon-21, freon-22 and freon-114, have been examined in detail. The computer model of calculation of thermal physical properties (pressure, temperature and enthalpy of saturation, specific volume, thermal conductivity, dynamic and kinematic viscosity, thermal capacity, thermal conductivity) is developed, realized in the form of the program for computer. The results of the calculation of thermophysical properties are displayed in the program window and in a file on the disk.

The calculation of heat conductivity of alloys of steel, titanium, aluminum, brass, copper and bronze is considered in detail. Developed a computer model of calculation of thermal conductivity, realized in the form of a program for computers. The results of thermal conductivity calculations are displayed in the program window and can be represented graphically.

Keywords: thermal properties, water vapour, water, industrial gases, thermal conductivity, structural materials, mathematical model, computer program

For citation: Labinsky A.Yu. The problem of calculations the heat-physical properties of the gas, liquids and solid body // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 48–54.

Введение

Расчеты с применением ЭВМ статических и динамических процессов теплообмена сопровождаются многократным определением теплофизических свойств теплообменных сред (газов и жидкостей) и теплопередающих поверхностей.

В инженерной практике расчет теплофизических свойств теплообменных сред при расчете на калькуляторе осуществляется либо с помощью таблиц термодинамических свойств, либо с помощью T_s - и i_s -диаграмм состояния. Метод расчета свойств теплообменных сред по таблицам применяется в тех случаях, когда необходимо получить результаты с очень высокой точностью. Этот метод весьма трудоемок и связан со значительными затратами времени. То же самое можно сказать о методе расчета свойств теплообменных сред с помощью T_s - и i_s -диаграмм состояния. Использование при расчете на ЭВМ теплофизических свойств таблиц, диаграмм и графиков возможно только после их аналитической аппроксимации [1–4].

К настоящему времени в результате развития вычислительной техники были созданы пакеты прикладных программ, предназначенные для определения теплофизических свойств теплообменных сред (газов и жидкостей), включая свойства воды и водяного пара, в которых используются уравнения, позволяющие получить значения свойств с высокой точностью и в широком диапазоне изменения параметров [5–7]. Однако такие пакеты прикладных программ весьма громоздки и дороги, так как позволяют производить определение свойств сотен органических и неорганических веществ и их смесей. Кроме того, в используемых теплоэнергетикой теплообменных аппаратах параметры воды и водяного пара изменяются в сравнительно узких пределах. Поэтому использование таких программ не представляется целесообразным. Известны работы, посвященные созданию компактных зависимостей для определения теплофизических свойств [8–11].

Сформулируем постановку задачи, результаты решения которой представлены в данной статье. Нужно разработать компьютерные модели, использующие компактные аналитические зависимости, для расчета теплофизических свойств системы «пар-вода», теплофизических свойств промышленных газов и теплопроводности конструкционных материалов. Тема статьи актуальна, так как разработанные компьютерные модели могут применяться для выполнения поверочных расчетов теплообменного оборудования, которые используются в пожарном деле для установления причин возникновения пожаров.

Новизна исследования, отражающая личный вклад автора, заключается в разработке компьютерных моделей расчета теплофизических свойств системы «пар-вода», теплофизических свойств промышленных газов и теплопроводности конструкционных материалов. Данные компьютерные модели реализованы в виде трех программ для ЭВМ, позволяющих представлять результаты расчетов в наглядном графическом виде.

Теплофизические свойства системы «пар-вода»

Компактные аналитические зависимости для машинных расчетов теплофизических свойств системы «пар-вода» заимствованы в работе [8].

Пределы использования программы расчета теплофизических свойств:

- вода: давление $1 < P < 180$ [атм], температура $20 < T < T_s$ [°C];
- вода-пар: давление $1 < P_s < 180$ [атм], температура $100 < T < 370$ [°C];
- перегретый пар: давление $1 < P < 120$ [атм], температура $T_s < T < 600$ [°C].

В программе рассчитываются следующие теплофизические свойства:

1. Вода: энтальпия, температура, удельный объем (от энтальпии и температуры), теплопроводность, динамическая вязкость, критерий Прандтля.
2. Насыщенная вода: температура, давление, энтальпия (от температуры и давления), удельный объем (от температуры и давления), теплопроводность, динамическая вязкость, поверхностное натяжение, критерий Прандтля.
3. Насыщенный пар: энтальпия (от температуры и давления), удельный объем (от давления), теплопроводность, динамическая вязкость, критерий Прандтля.
4. Перегретый пар: энтальпия, температура, удельный объем (от температуры и давления), теплопроводность, динамическая вязкость, критерий Прандтля.

Интерфейс программы расчета теплофизических свойств представлен на рис. 1, 2.

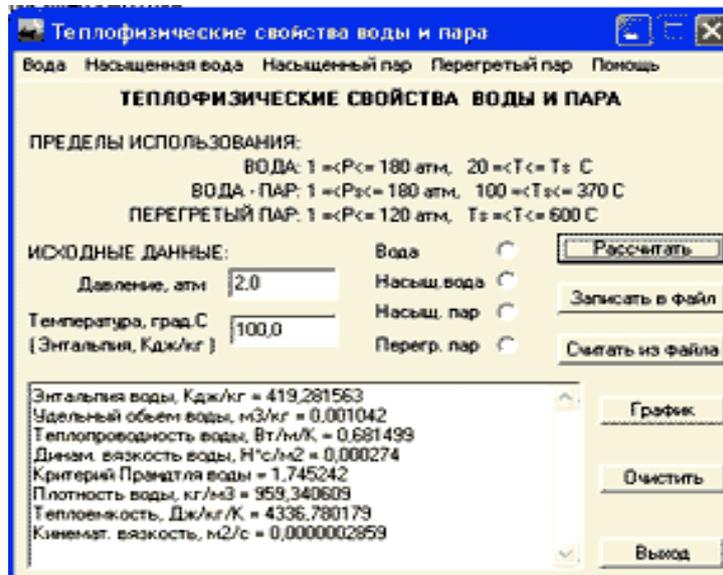


Рис. 1. Программа расчета теплофизических свойств

Результаты расчетов выводятся в правое окно программы и в файл на диске, а также могут быть представлены в графическом виде.

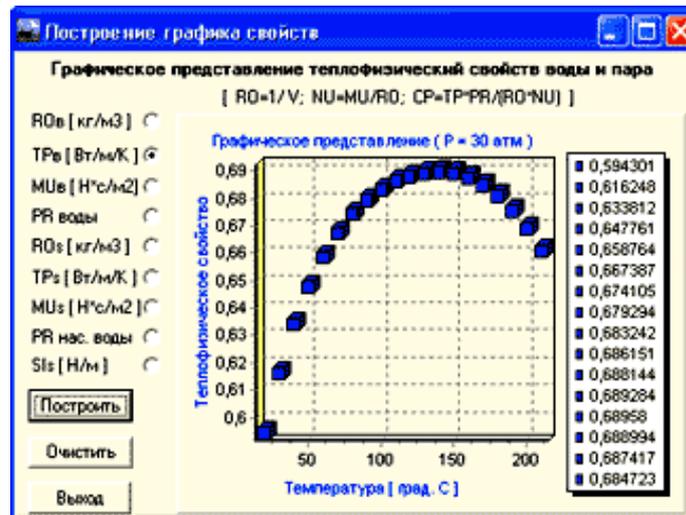


Рис. 2. Окно графического представления теплофизических свойств

Теплофизические свойства промышленных газов (воздух, чистые газы, фреоны)

Рассчитываются теплофизические свойства воздуха, азота, аргона, гелия, фреона-12, фреона-21, фреона-22 и фреона-114. Аналитические зависимости вида:

$$Y = A + B \cdot X + C \cdot X^D + K \cdot \exp(M \cdot X)$$

получены путем аппроксимации табличных данных [2].

Пределы использования программы расчета теплофизических свойств:

- воздух: $1 < P < 10$ [атм], $0 < T < 1000$ [°C];
- чистые газы: $1 < P < 100$ [атм], $10 < T < 730$ [°C];
- фреоны: $1 < P < 6$ [атм], $0 < T < 60$ [°C].

В программе рассчитываются следующие теплофизические свойства: давление, температура и энтальпия насыщения, удельный объем, теплопроводность, динамическая и кинематическая вязкость, теплоемкость, теплопроводность. Результаты расчетов выводятся в нижнее окно программы и в файл на диске. Интерфейс программы расчета теплофизических свойств представлен на рис. 3.

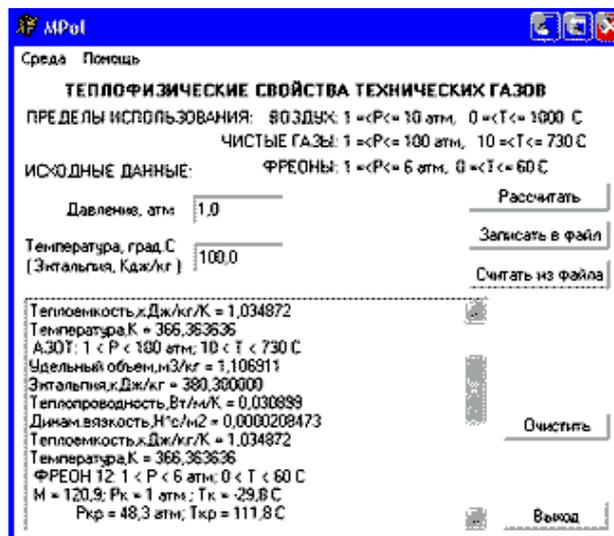


Рис. 3. Программа расчета теплофизических свойств

Теплопроводность конструкционных материалов (сталь, титан, алюминий, латунь, медь, бронза)

Рассчитывается теплопроводность сплавов стали, титана, алюминия, латуни, меди и бронзы. Аналитические зависимости вида $Y = A + B \cdot X + C \cdot (X - D)$ получены путем аппроксимации табличных данных [8].

Пределы изменения температуры: $60 < T < 700$ [°K]. Возможен автоматический перебор температур в заданном диапазоне. Результаты расчета могут быть представлены в графическом виде.

Рассчитывается теплопроводность следующих сплавов:

- сталь и титан (нержавеющая и углеродистая сталь, чугун, титановый сплав);
- алюминий (сплавы Д16, АМг3, АМг6, АД1, АЛ4, АК, сплавы Al+Cu, Al+Cu+Si, Al+Cu+Mg+Zn);
- латунь (чистая латунь, сплавы Л96, Л68, ЛМц, ЛС7, ЛАН);
- медь и бронза (сплавы меди Cu+Be, Cu+Be+Ni, Cu+Cr+Zr, сплавы бронзы 5 % Mn, Mn+Si, Sn+Pb, Sn+Pb+Zn).

Интерфейс программы расчета теплопроводности представлен на рис. 4, 5.



Рис. 4. Программа расчета теплопроводности



Рис. 5. Окно графического представления теплофизических свойств

Пример поверочного расчета теплообменного аппарата

Для демонстрации применимости программ расчета теплофизических свойств в сфере пожарной безопасности представлены результаты расчета теплофизических свойств (плотность, кинематическая вязкость), используемых в процессе поверочного расчета трехпоточного теплообменного аппарата (ТА). Программа расчета многопоточного ТА представлена в статье [11].

В качестве примера поверочного расчета ТА выполнялся поверочный расчет трехпоточного ТА с целью определения конечных температур.

Исходные данные для поверочного расчета:

- Температуры потоков на холодном конце ТА, °С: 160,0; 140,0; 140,0; 145,0.
- Массовые расходы потоков, кг/с: 0,48; 0,16; 0,21; 0,44.
- Водяные эквиваленты потоков, Вт/К: 7330,0; 1440,0; 435,0; 2220,0.
- Скорости сред потоков, м/с: 1,00; 3,00; 9,50; 4,30.
- Плотности сред, кг/м³: 25,0; 8,9; 3,8; 25,6.
- Кинематическая вязкость, м²/с: $0,31 \cdot 10^{-6}$; $0,72 \cdot 10^{-6}$; $0,28 \cdot 10^{-6}$; $1,54 \cdot 10^{-6}$.

Результаты расчета:

Температуры на горячем конце ТА, град: 175,79; 173,36; 172,38; 172,29.

Коэффициенты теплоотдачи в каждом канале, Вт/м²/К: 564,87; 805,04; 236,64; 1091,31.

Коэффициенты теплопередачи, Вт/м²/К: 259,9; 133,9; 289,7.

Средние арифметические температурные напоры, град: 10,72; 11,20; 8,75.

Теплообменные поверхности, м²: 17,57; 9,56; 24,36.

Суммарная теплообменная поверхность, м²: 51,49.

Теплофизические свойства теплообменивающихся сред (плотность, кинематическая вязкость) определены с помощью представленной программы расчета теплофизических свойств системы «пар-вода» (рис. 1, 2).

Вывод

Выполнено компьютерное моделирование процесса расчета теплофизических свойств системы «пар-вода», промышленных газов (воздух, чистые газы, фреоны) и конструкционных материалов (теплопроводность стали, чугуна, титана, алюминия, латуни, меди и бронзы). Разработанные компьютерные модели реализованы в виде трех программ для ЭВМ, позволяющих представлять результаты расчетов в наглядном графическом виде.

Список источников

1. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. М.: Энергия, 1973.
3. Гидравлический расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. М.: Энергия, 1978.
4. Баранов Л.А., Лебедев А.Т. Система уравнений для основных теплофизических величин, используемых при расчетах динамических характеристик теплоэнергетических установок // Теплоэнергетика. 1973. № 2.
5. Spalding D., Taborek J. Heat exchanger design handbook. New York and London, 2014.
6. Winter F.W. Technische Wärmelehre. Essen, 2014.
7. Лабинский А.Ю. Расчеты теплообменных аппаратов в пожарном деле // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2021. № 2 (38). С. 29–34.
8. Ривкин С.Л., Кременевская Е.А. Уравнения состояния воды и водяного пара для машинных расчетов процессов теплообмена // Теплоэнергетика. 1977. № 3.
9. Справочник по теплообменникам: в 2-х т.: пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1987.
10. Jakob M. Heat Transfer. New York and London, 2016.
11. Eckert E., Drake R. Heat and Mass Transfer. London, 2015.

References

1. Vargaftik N.B. Spravochnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zhidkosteij. M.: Nauka, 1972.
2. Teplovoj raschet kotel'nyh agregatov. Normativnyj metod. M.: Energiya, 1973.
3. Gidravlicheskiy raschet kotel'nyh agregatov. Normativnyj metod. M.: Energiya, 1978.
4. Baranov L.A., Lebedev A.T. Sistema uravnenij dlya osnovnyh teplofizicheskikh velichin, ispol'zuemyh pri raschetah dinamicheskikh harakteristik teploenergeticheskikh ustanovok // Teploenergetika. 1973. № 2.
5. Spalding D., Taborek J. Heat exchanger design handbook. New York and London, 2014.
6. Winter F.W. Technishe warmelehre. Essen, 2014.
7. Labinskij A.Yu. Raschety teploobmennyyh apparatov v pozharnom dele // Prirodnye i tekhnogennyye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2021. № 2 (38). S. 29–34.
8. Rivkin S.L., Kremenevskaya E.A. Uravneniya sostoyaniya vody i vodyanogo para dlya mashinnyh raschetov processov teploobmena // Teploenergetika. 1977. № 3.
9. Spravochnik po teploobmennikam: v 2-h t.: per. s angl. M.: Energoatomizdat, 1987.
10. Jakob M. Heat Transfer. New York and London, 2016.
11. Eckert E., Drake R. Heat and Mass Transfer. London, 2015.

Информация об авторах:

Лабинский Александр Юрьевич, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: Labinsciy@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>

Information about the authors:

Labinsky Alexander Yu., associate professor of the department of applied mathematics and information technology of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: Labinsciy@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 03.11.2022; одобрена после рецензирования: 21.11.2022; принята к публикации: 24.11.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 03.11.2022; approved after review: 21.11.2022; accepted for publication: 24.11.2022

СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС

Научная статья

УДК 614.835.3

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРНОГО РИСКА НА ОБЪЕКТАХ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Горячева Мария Олеговна;

✉ Актерский Юрий Евгеньевич;

Минкин Денис Юрьевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ akterskij.y@igps.ru

Аннотация. Рассмотрены проблемы снижения пожарного риска на объектах водородной энергетики и нефтегазового комплекса. В настоящее время Российской Федерацией принят ряд документов, позволяющих значительно активизировать и расширить масштабы производства водорода с целью постепенного перехода от использования традиционного топлива в качестве промышленного и транспортного энергоресурса к использованию экологически чистого водородного топлива. Снизить пожарный риск на таких объектах возможно методом раннего обнаружения возгорания и последующим приведением в действие систем автоматической пожарной защиты объекта. Разработка и совершенствование научно-методического аппарата снижения взрывопожарного риска на опасных производственных объектах водородной энергетики и нефтегазового комплекса на основе адаптивной технологии гарантированного предотвращения пожаров позволит снизить пожарный риск на таких объектах, что позволит сократить риски материального вреда, а также вреда жизни и здоровью сотрудников и жителей близлежащих населенных пунктов.

Ключевые слова: водород, нефтегазовая отрасль, водородное топливо, водородные заправки, пожарная опасность

Для цитирования: Горячева М.О., Актерский Ю.Е., Минкин Д.Ю. Анализ проблемы снижения пожарного риска на объектах водородной энергетики и нефтегазового комплекса // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 55–61.

ANALYSIS OF THE PROBLEM OF REDUCING FIRE RISK AT HYDROGEN ENERGY AND OIL AND GAS FACILITIES

Goryacheva Maria O.;

✉ Akterskiy Yuriy E.;

Minkin Denis Yu.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ akterskij.y@igps.ru

Abstract. The article deals with the problems of reducing fire risk at the facilities of hydrogen energy and oil and gas complex. Currently, the Russian Federation has adopted a number

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

of documents that make it possible to significantly activate and expand the scale of hydrogen production in order to gradually transition from the use of traditional fuel as an industrial and transport energy resource to the use of environmentally friendly hydrogen fuel. It is possible to reduce the fire risk at such facilities by early detection of fire and subsequent activation of automatic fire protection systems of the facility. The development and improvement of the scientific and methodological apparatus for reducing explosion and fire risk at hazardous production facilities of hydrogen energy and oil and gas complex on the basis of adaptive technology of guaranteed fire prevention will reduce the fire risk at such facilities, which will reduce the risks of material harm, as well as harm to the life and health of employees and residents near the localities.

Keywords: hydrogen, oil and gas management, hydrogen fuel, hydrogen filling stations, fire hazard

For citation: Goryacheva M.O., Actersky Yu.E., Minkin D.Yu. Analysis of the problem of worsening fire risk at hydrogen energy and oil and gas facilities // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 55–61.

Введение

Вопрос применения углеводородного топлива в качестве энергоресурса в XXI в. не теряет своей актуальности, но внедрение водорода в качестве энергоносителя является перспективным направлением в ближайшем будущем из-за своих физико-химических свойств, превосходящих аналогичные свойства углеводородов. Исходя из вышеизложенного, не менее актуальным остается вопрос об обеспечении безопасности и снижении пожарного риска промышленных и транспортных объектов водородной энергетики и нефтегазового комплекса. Проблемы обеспечения их пожарной безопасности имеют много общего и тесно взаимосвязаны между собой. Одной из широко применяемых технологий получения водорода является переработка углеводородного сырья (метана). Однако есть и существенные отличия, которые при широком производстве и использовании водородного топлива обязательно должны учитываться. С точки зрения обеспечения пожарной безопасности указанные особенности, с учетом некоторых допущений, позволяют отнести перспективные объекты водородной энергетики к объектам нефтегазовой отрасли [1, 2].

В Российской Федерации нефтегазовая отрасль на сегодняшний день является основой экономики страны, обеспечивающая жизнедеятельность всех остальных производственных и непромышленных отраслей. Аварии на таких предприятиях имеют очень тяжелые последствия как для экологии страны, так и для экономики в целом. Согласно статистике в 2021 г. основными видами аварий на производственных объектах нефтегазовой отрасли были: взрывы, пожары, разрушения технологических устройств и аппаратов. Экономический ущерб от таких аварий колоссальный.

В Российской Федерации была принята Энергетическая стратегия на период до 2035 г., которая предполагает реализацию плавного перехода от углеводородного топлива к использованию самого водорода в качестве энергоносителя.

Особенно актуальным в настоящее время является применение водородного топлива для автомобильного транспорта. Это связано с его высокой экологичностью и энергетической эффективностью. Применение водородного топлива для автомобилей позволяет практически полностью исключить выбросы в окружающую среду вредных продуктов сгорания [3].

В Российской Федерации на сегодняшний день действует малое количество водородных заправок. Одна из таких заправок территориально расположена в Московской области в г. Черноголовка.

Цель работы – обоснование и поиск методов, обеспечивающих решение проблемы снижения взрывопожарного риска на объектах нефтегазового комплекса.

Материалы и методы исследования

Исследованию безопасной эксплуатации и хранению водорода, а так же безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли в целом посвящено большое количество трудов как отечественных, так и зарубежных ученых. Все это помогает расширить знания и углубить исследования в области безопасного хранения и эксплуатации водорода, а так же позволяет усовершенствовать уже имеющиеся подходы к обеспечению комплексной безопасности на объектах нефтегазового комплекса [4–6].

В работе был проведен углубленный анализ и поиск методов, обеспечивающих снижение взрывопожарного риска возникновения чрезвычайной ситуации на опасных объектах нефтегазового комплекса.

Результаты исследования и их обсуждение

Водород является важнейшей составляющей постепенного перехода от углеводородного сырья к использованию водорода в качестве энергоносителя, так как водород сам по себе – экологически чистое топливо. Производство водорода во всем мире принято разделять по цветам:

- «зеленый» водород – производится с помощью метода электролиза воды;
- «желтый» водород – производят с помощью метода электролиза с использованием атомных электростанций;
- «бирюзовый» водород – производят с помощью метода пиролиза метана (природный газ);
- «голубой» водород – производят с помощью паровой конверсии метана;
- «серый» водород – производят с помощью реформинга ископаемых источников энергии. При производстве такого водорода в атмосферу выделяется колоссальное количество CO₂;
- «бурый» водород – производят с помощью газификации и паровой конверсии угля.

Российская Федерация владеет огромными запасами для обеспечения внедрения масштабного использования водородной энергетики.

Согласно задачам Энергетической стратегии до 2035 г. Российская Федерация нацелена на производство и потребление водорода, вхождение государства в число мировых лидеров по производству и экспорту водорода [7, 8]. В комплекс мер, способствующих решению поставленных задач, входят:

- законодательная поддержка производства водорода, а также государственная поддержка по созданию инфраструктуры транспортировки водорода и его потребления;
- наращивание масштабов производства водорода из природного газа;
- разработка низкоуглеродных технологий производства водорода методами пиролиза метана, электролиза, конверсий, а также с возможностью локализации зарубежных технологий;
- увеличение спроса на внутреннем рынке на топливные элементы, работа которых строится на основе водорода для транспорта;
- разработка и внедрение нормативно-правовой базы, регламентирующей безопасность водородной энергетики;
- развитие международного сотрудничества в области развития водородной энергетики.

Российской Федерацией так же был утвержден план развития водородной энергетики, целью которого является организация первоочередных работ в области высокопроизводительной экспортно-ориентированной водородной энергетики. Так же была утверждена концепция, которая определяет цели, задачи и стратегические инициативы по развитию водородной энергетики. Концепция устанавливает три основных периода развития:

- среднесрочный период до 2024 г.;
- долгосрочный период до 2035 г.;
- ориентиры на перспективу до 2050 г.

В связи с наращиванием темпа внедрения водородной энергетики в повседневную жизнедеятельность необходима разработка методики снижения взрывопожарной опасности на объектах нефтегазовой отрасли.

Установлено, что эффективным методом для снижения пожарной опасности на опасных объектах нефтегазового комплекса является метод обнаружения возгорания на раннем этапе его возникновения. В связи с этим необходима разработка и широкое применение новых методов обнаружения факторов возникновения пожарных и взрывоопасных ситуаций на раннем этапе их появления, что позволит своевременно привести в действие систему пожарной автоматики объекта. Благодаря своевременному реагированию на очаг возгорания, сократятся материальные потери от взрывопожароопасных ситуаций, и сведутся к минимуму риски причинения вреда здоровью и жизни сотрудников таких предприятий, а также жителей близлежащих населенных пунктов.

Разработка структуры и принципов функционирования адаптивной системы гарантированного предотвращения пожаров на объектах нефтегазового комплекса позволит снизить пожарный риск на таких объектах [9, 10].

Данная система должна соответствовать следующим требованиям:

- система должна автономно функционировать вне зависимости от внешних условий (сбой в электрической сети, отключение электричества на объекте защиты и т.д.);
- система должна быть адаптирована к пожарной нагрузке объекта нефтегазовой отрасли;
- система должна обладать интеллектуальными возможностями, а также способностью поддержки принятия решения ответственным лицом.

Учитывая перечисленные требования, в структуру адаптивной системы раннего обнаружения возгораний на объектах нефтегазового комплекса должны входить следующие компоненты и подсистемы:

- Центральная подсистема управления (ЦПУ), которая должна обеспечивать мониторинг, оповещение и эвакуацию персонала, работающего на объекте;
- рабочие места (РМ) для дежурных диспетчеров, обеспечивающих поддержку принятия решений;
- коммуникационное оборудование, необходимое для передачи информационных и управляющих сигналов;
- подсистема, адаптивная к пожарной нагрузке объекта нефтегазового комплекса и масштабируемая в зависимости от расширения данного объекта;
- интеллектуальная подсистема, обеспечивающая оповещение и управление эвакуацией людей при пожаре. В состав данной подсистемы необходимо ввести модуль формирования и управление цифровой моделью объекта нефтегазовой отрасли. Схема данной системы представлена на рисунке.

Предполагаемая адаптивная система раннего обнаружения возгораний на объектах нефтегазового комплекса позволит вести непрерывный мониторинг на всей территории объекта защиты и сможет отслеживать такие параметры, как максимально допустимую температуру, скорость нарастания температуры и появление дыма в небольшой концентрации в помещении защищаемого объекта.

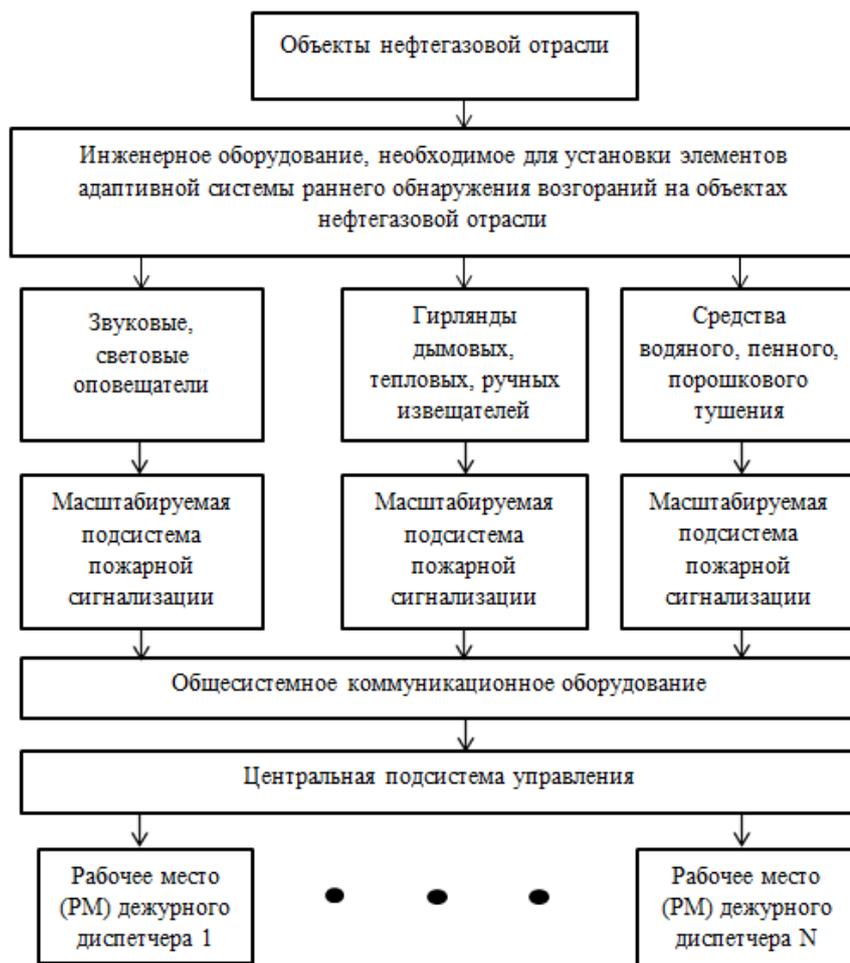


Рис. Структурная схема адаптивной системы раннего обнаружения возгораний на объектах нефтегазового комплекса

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что снижение взрывопожарного риска на опасных объектах водородной энергетики и нефтегазового комплекса достигается на основе предложенной адаптивной системы раннего обнаружения возгораний на объектах нефтегазового комплекса, которая включает в себя компоненты и подсистемы, необходимые для достаточного функционирования этой системы.

Список источников

1. Кулагин В.А., Грушевенко Д.А. Сможет ли водород стать топливом будущего? // Теплоэнергетика. 2020. № 4. С. 1–14.
2. Тимофеев Д.И. Водородный переход в локальной энергетике: зарубежный опыт и российские перспективы // Энергетическая политика. 2019. № 4 (142). С. 86–95.
3. Актерский Ю.Е., Горячева М.О. Анализ направлений комплексного использования углеводородных и водородных энергетических ресурсов на территории Российской Федерации // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2022. С. 211–213.
4. Rigas F., Sklavounos S. Evaluation of hazards associated with hydrogen storage facilities // International journal of hydrogen energy. 2005. № 30. С. 1 501–1 510.

5. Saloua B., Mounira R., Salah M.M. Fire and explosion risks in petrochemical plant: assessment, modeling and consequences analysis // *J. Fail. Anal. Prev.* 2019. № 19.
6. Analysis of risk and the strengthening of the safety technical barriers: application of skikda (algeria) oil refining complex / L.A. Ouffroukh [et al.] // *World J. Eng.* 2018. P. 99–109.
7. Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 г. № 2634-р. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
8. Горячева М.О. Анализ направлений комплексного безопасного использования углеводородных энергетических ресурсов в Российской Федерации // *Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: сб. материалов Дней науки с междунар. участием, посвященных 90-летию Гражданской обороны России.* Екатеринбург: Уральский ин-т ГПС МЧС России, 2022. С. 34–36.
9. Гудин С.В. Модели алгоритмы поддержки адаптивного управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. С. 34.
10. Журавлев Д.Е. Программно-аппаратный комплекс беспроводного мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики: дис. ... канд. техн. наук. М., 2022. С. 39.

References

1. Kulagin V.A., Grushevenko D.A. Smozhet li vodorod stat' toplivom budushchego? // *Teploenergetika.* 2020. № 4. С. 1–14.
2. Timofeev D.I. Vodorodnyj perekhod v lokal'noj energetike: zarubezhnyj opyt i rossijskie perspektivy // *Energeticheskaya politika.* 2019. № 4 (142). S. 86–95.
3. Akterskij Yu.E., Goryacheva M.O. Analiz napravlenij kompleksnogo ispol'zovaniya uglevodorodnyh i vodorodnyh energeticheskikh resursov na territorii Rossijskoj Federacii // *Pozharnaya bezopasnost': sovremennye vyzovy. Problemy i puti resheniya: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii,* 2022. S. 211–213.
4. Rigas F., Sklavounos S. Evaluation of hazards associated with hydrogen storage facilities // *International journal of hydrogen energy.* 2005. № 30. С. 1 501–1 510.
5. Saloua B., Mounira R., Salah M.M. Fire and explosion risks in petrochemical plant: assessment, modeling and consequences analysis // *J. Fail. Anal. Prev.* 2019. № 19.
6. Analysis of risk and the strengthening of the safety technical barriers: application of skikda (algeria) oil refining complex / L.A. Ouffroukh [et al.] // *World J. Eng.* 2018. P. 99–109.
7. Razvitie vodorodnoj energetiki v Rossijskoj Federacii do 2024 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskaya Federaciya ot 12 oktyabrya 2020 g. № 2634-r. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
8. Goryacheva M.O. Analiz napravlenij kompleksnogo bezopasnogo ispol'zovaniya uglevodorodnyh energeticheskikh resursov v Rossijskoj Federacii // *Aktual'nye problemy obespecheniya bezopasnosti v Rossijskoj Federacii: sb. materialov Dnej nauki s mezhdunar. uchastiem, posvyashchennyh 90-letiyu Grazhdanskoj oborony Rossii.* Ekaterinburg: Ural'skij in-t GPS MCHS Rossii, 2022. S. 34–36.
9. Gudin S.V. Modeli algoritmy podderzhki adaptivnogo upravleniya pozharnoj bezopasnost'yu neftegazovyh ob"ektov: dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 2017. S. 34.
10. Zhuravlev D.E. Programmno-apparatnyj kompleks besprovodnogo monitoringa pozharnoj bezopasnosti ob"ektov energetiki: dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 2022. S. 39.

Информация об авторах:

Горячева Мария Олеговна, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: goryacheva.97@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8643-4285>

Актерский Юрий Евгеньевич, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор военных наук, профессор, e-mail: aue2002@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5767-7462>

Минкин Денис Юрьевич, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149); директор СПб ГУП «Горэлектротранс» (196105, Санкт-Петербург, Сызранская ул., д. 15), доктор технических наук, профессор, e-mail: dunkel@mail.ru

Information about the authors:

Goryacheva Maria O., adjunct of the faculty of training of highly qualified personnel of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: goryacheva.97@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8643-4285>

Akterskiy Yuriy E., professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of military sciences, professor, e-mail: aue2002@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5767-7462>

Minkin Denis Yu., professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of the Saint-Petersburg university of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149); director of the Saint-Petersburg state unitary enterprise «Gorelektrotrans» (196105, Saint-Petersburg, Syzranskaya str., 15), doctor of technical sciences, professor, e-mail: dunkel@mail.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 08.11.2022; одобрена после рецензирования: 14.11.2022; принята к публикации: 16.11.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 08.11.2022; approved after review: 14.11.2022; accepted for publication: 16.11.2022

Научная статья
УДК 614.8: 616.001

РЕГИОНАЛЬНЫЕ РИСКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА И ГИБЕЛИ ЛИЧНОГО СОСТАВА ОПЕРАТИВНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МЧС РОССИИ (2012–2021 гг.)

✉ **Евдокимов Владимир Иванович.**

**Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова
МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.**

Бобринев Евгений Васильевич;

Кондашов Андрей Александрович;

Удавцова Елена Юрьевна.

**Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт
противопожарной обороны МЧС России, Москва, Россия**

✉ **9334616@mail.ru**

Аннотация. Производственный травматизм – важный показатель безопасности деятельности. Цель – анализ рисков производственного травматизма и гибели личного состава оперативных подразделений МЧС России по федеральным округам и регионам России за 10 лет (2012–2021). Риск производственного травматизма личного состава оперативных подразделений МЧС России составил $(11,57 \pm 0,68) \cdot 10^{-4}$, гибели – $(9,49 \pm 1,37) \cdot 10^{-5}$. При оптимальном риске средние значения региона были меньше на $\frac{1}{3}$ от средней величины риска по МЧС России, при допустимом – средние значения региона отличались не более чем на $\frac{1}{3}$ от среднего показателя, при повышенном (неприемлемом) – средние значения региона превышали на $\frac{1}{3}$ среднюю величину риска. Низкий риск получить травму при выполнении профессиональных обязанностей был у личного состава в Приволжском федеральном округе – $(5,14 \pm 0,52) \cdot 10^{-4}$, высокий – в Северо-Кавказском федеральном округе – $(20,83 \pm 2,51) \cdot 10^{-4}$, Дальневосточном федеральном округе – $(19,92 \pm 3,25) \cdot 10^{-4}$ и Южном федеральном округе – $(15,63 \pm 1,97) \cdot 10^{-4}$, средний – в остальных федеральных округах. Низкий риск получения травм наблюдался в 21 регионе, средний – в 36, высокий – в 28 регионах России. Низкий уровень рисков гибели был в Уральском федеральном округе – $(3,22 \pm 1,00) \cdot 10^{-5}$ и Приволжском федеральном округе – $(5,87 \pm 1,17) \cdot 10^{-5}$, высокий – в Северо-Кавказском федеральном округе – $(20,83 \pm 5,81) \cdot 10^{-5}$, средний – в остальных федеральных округах. Низкий риск гибели личного состава наблюдался в 40 регионах, средний – в 21, высокий – в 24 регионах. Учет и профилактика рисков получения травм и гибели при выполнении служебных обязанностей личным составом оперативных подразделений МЧС России позволяет минимизировать их, а также рассчитать силы и средства для предупреждения травматизма.

Ключевые слова: риск, производственный травматизм, гибель, чрезвычайная ситуация, пожарный, спасатель, МЧС России

Для цитирования: Евдокимов В.И., Бобринев Е.В., Кондашов А.А., Удавцова Е.Ю. Региональные риски производственного травматизма и гибели личного состава оперативных подразделений МЧС России (2012–2021 гг.) // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 62–72.

REGIONAL RISKS OF OCCUPATIONAL INJURIES AND DEATH OF THE PERSONNEL OF OPERATIONAL UNITS OF THE EMERCOM OF RUSSIA (2012–2021)

✉Evdokimov Vladimir I.

Nikiforov Russian center of emergency and radiation medicine of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.

Bobrinev Evgeniy V.;

Kondashov Andrey A.;

Udavtsova Elena Yu.

All-Russian research institute for fire protection of EMERCOM of Russia, Moscow region, Russia

✉9334616@mail.ru

Abstract. Occupational injury is important indicator of the safety of activities. The intention is to analyze the risks of occupational injuries and death of personnel of the operational units of EMERCOM of Russia by federal districts and regions of Russia for 10 years (2012–2021). The risk of occupational injury among the personnel of the operational units of the EMERCOM of Russia was $(11,57 \pm 0,68) \cdot 10^{-4}$, death – $(9,49 \pm 1,37) \cdot 10^{-5}$. At optimal risk, the average values of the region were less than 1/3 of the average risk according to the EMERCOM of Russia; at acceptable risk, the average values of the region differed by no more than 1/3 from the average; at an increased (unacceptable) level, the average values of the region exceeded by 1/3 of the average risk. Personnel in the Volga federal district had a low risk of injury while performing professional duties – $(5,14 \pm 0,52) \cdot 10^{-4}$, a high risk in the North Caucasian federal district – $(20,83 \pm 2,51) \cdot 10^{-4}$, Far eastern federal district – $(19,92 \pm 3,25) \cdot 10^{-4}$ and Southern federal district – $(15,63 \pm 1,97) \cdot 10^{-4}$, medium – in the other federal districts. A low risk of injury was observed in 21 regions, medium – in 36, high – in 28 regions of Russia. The low risk of death was in the Ural federal district – $(3,22 \pm 1,00) \cdot 10^{-5}$ and the Volga federal district – $(5,87 \pm 1,17) \cdot 10^{-5}$, high – in the North Caucasus federal district – $(20,83 \pm 5,81) \cdot 10^{-5}$, medium – in other federal districts. A low risk of death of personnel was observed in 40 regions, medium – in 21, high – in 24 regions. Accounting and prevention of the risks of injury and death in the performance of official duties by the personnel of the operational units of EMERCOM of Russia, allows them to be minimized, as well as to calculate the forces and means to prevent injuries.

Keywords: risk, occupational injury, death, emergency, firefighter, rescuer, EMERCOM of Russia

For citation: Evdokimov V.I., Bobrinev E.V., Kondashov A.A., Udavtsova E.Yu. Regional risks of occupational injuries and death of the personnel of operational units of the EMERCOM of Russia (2012–2021) // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 62–72.

Введение

Производственный травматизм – совокупность травм, полученных работниками на производстве и обусловленных несоблюдением условий организации труда за определенный период времени, например за 1 год. Производственный травматизм – важный показатель безопасности деятельности.

Анализ производственного травматизма в мире осуществляет Международная организация труда (The International labour organization) [1]. В последнее время в мире ежегодно получают производственные травмы более 370 млн чел. и погибают от профессиональных вредностей 2,78 млн чел., из них от смертельных травм – около 400 тыс. [2]. В экономически развитых странах с хорошо поставленным социальным страхованием соотношение

производственного травматизма к гибели на производстве бывает 300:1. Экономический ущерб от производственного травматизма составляет не менее 4 % от мирового валового дохода [3].

Риск – вероятность возникновения какого-либо события, как правило, негативного, например травмы, в определенный промежуток времени, например за год. Свести до нуля риски травматизма и гибели работающих на производстве по ряду причин нельзя. Эти причины можно только минимизировать.

По данным Росстата [4], среднегодовой риск производственного травматизма в России в 2012–2021 гг. был $(13,40 \pm 0,86) \cdot 10^{-4}$, в том числе мужчин – $(16,50 \pm 1,09) \cdot 10^{-4}$, женщин – $(9,10 \pm 0,48) \cdot 10^{-4}$, среднегодовой риск гибели на производстве – $(13,40 \pm 0,86) \cdot 10^{-5}$, $(16,50 \pm 1,09) \cdot 10^{-5}$ и $(9,10 \pm 0,48) \cdot 10^{-5}$ соответственно.

Улучшение условий труда и других мероприятий способствует уменьшению рисков получить травму на производстве в мире [5], России [4, 6] и МЧС России. Например, в предыдущих публикациях риск получить травму при выполнении служебных обязанностей у сотрудников и работников федеральной противопожарной службы (ФПС) МЧС России в 2006–2020 гг. был $(14,66 \pm 2,01) \cdot 10^{-4}$, риск гибели – $(8,53 \pm 0,83) \cdot 10^{-5}$ [7], в 2011–2020 гг. – $(11,10 \pm 1,84) \cdot 10^{-4}$ и $(7,30 \pm 0,65) \cdot 10^{-5}$ соответственно [8].

Цель – анализ рисков производственного травматизма и гибели личного состава оперативных подразделений МЧС России по федеральным округам и регионам России за 10 лет (2012–2021 гг.).

Материал и методы

Сведения о травмах личного состава (военнослужащих, сотрудников, имеющих специальные звания, и работников) оперативных подразделений МЧС России в 2012–2021 гг. взяли из банка статистических данных по заболеваемости, травматизму, инвалидности и гибели личного состава подразделений МЧС России при выполнении служебных обязанностей [9].

Риск получить травму при выполнении профессиональных обязанностей рассчитали на 10 тыс. чел. ($\times 10^{-4}$) личного состава, риск гибели – на 100 тыс. ($\times 10^{-5}$). Учитывая, что в МЧС России трудятся не более 1,5 % женщин, риски травматизма и гибели соотнесли с аналогичными показателями у работающих мужчин по экономике России.

На практике для соотнесения рисков к качественным характеристикам обычно применяют несколько приемов [10, 11]. Например, используют вариационную статистику, вычисления сходства (различий) средних величин по t-критерию Стьюдента и пр. В нашем исследовании качественные показатели рисков в регионах соотнесли с цветами светофора:

- оптимальный (зеленый цвет светофора) – средние значения в регионе более чем на $\frac{1}{3}$ меньше средней величины риска по МЧС России;
- допустимый (желтый цвет) – средние значения в регионе отличаются не более чем на $\frac{1}{3}$ от среднего показателя риска по МЧС России;
- повышенный (неприемлемый, красный цвет) – средние значения в регионе превышают больше чем на $\frac{1}{3}$ среднюю величину риска по МЧС России.

В статье представлены средние арифметические данные и их ошибки ($M \pm m$). В связи с небольшими показателями травм, в том числе фатальных, рассчитанный среднегодовой уровень по некоторым регионам отличался от нормального распределения. Развитие показателей рисков изучили при помощи динамических рядов, для чего строили полиномиальные тренды второго порядка. Коэффициент детерминации (R^2) показывал связь построенного тренда с реальной тенденцией развития показателей, чем больше был R^2 (максимальный 1,0), тем более объективным оказался тренд [12]. Согласованность (конгруэнтность) изучаемых трендов риском травмирования и гибели оценивали по коэффициенту корреляции (r) Пирсона.

Результаты и их анализ

Риск производственного травматизма у личного состава оперативных подразделений МЧС России за 10 лет (2012–2021 гг.) составил $(11,57 \pm 0,68) \cdot 10^{-4}$, работников-мужчин по экономике России он оказался статистически достоверно больше – $(16,50 \pm 0,68) \cdot 10^{-4}$ ($p < 0,01$).

При разных по значимости коэффициентах детерминации полиномиальные тренды риска травматизма личного состава и работников-мужчин демонстрируют тенденции уменьшения данных (рис. 1). Конгруэнтность трендов рисков травматизма – сильная, положительная и статистически значимая ($r = 0,633$; $p < 0,05$), что может указывать на влияние в развитии рисков травматизма одинаковых (однонаправленных) факторов.

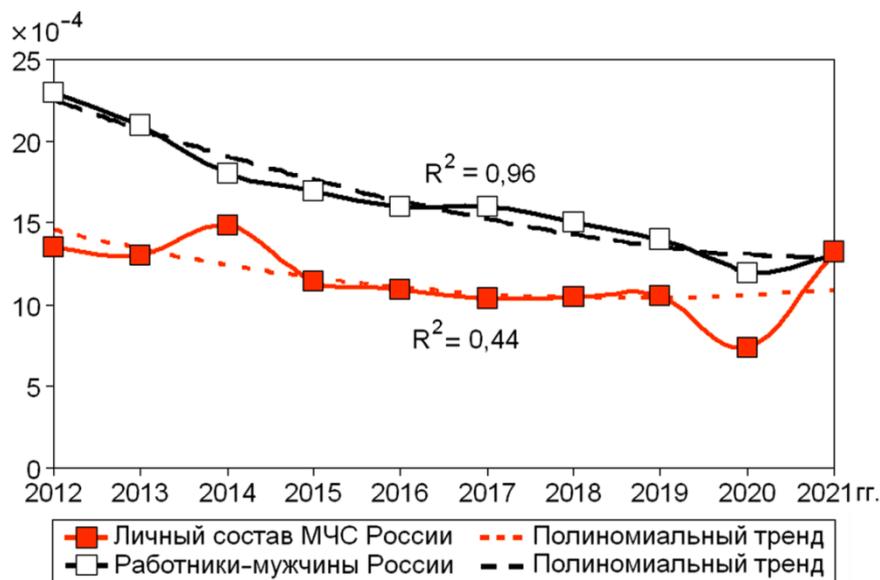


Рис. 1. Динамика рисков производственного травматизма личного состава оперативных подразделений МЧС России и работников-мужчин России

Исходя из принятой методики, низкий уровень риска получения травм был меньше $7,71 \cdot 10^{-4}$, средний – от $7,71 \cdot 10^{-4}$ до $15,43 \cdot 10^{-4}$, высокий – больше $15,43 \cdot 10^{-4}$.

Уместно указать, что среднегодовой риск получения травм при выполнении служебных обязанностей у личного состава ФПС МЧС России составил $(9,19 \pm 0,54) \cdot 10^{-4}$, спасательных воинских формирований (СВФ МЧС России) – $(58,08 \pm 7,24) \cdot 10^{-4}$, поисково-спасательных и аварийно-спасательных формирований (ПСФ МЧС России) – $(33,16 \pm 4,66) \cdot 10^{-4}$, военизированных горноспасательных частей (ВГСЧ МЧС России) – $(23,90 \pm 9,14) \cdot 10^{-4}$, Государственной инспекции по маломерным судам (ГИМС МЧС России) – $(4,46 \pm 1,42) \cdot 10^{-4}$. Низкий риск получения травм был у личного состава ГИМС МЧС России, средний – ФПС МЧС России, в остальных службах МЧС России, осуществляющих оперативную деятельность, – высокий.

На рис. 2 представлена картограмма России с уровнями рисков получения травм личным составом по федеральным округам (ФО), в таблице – по регионам России. Оказалось, что низкий уровень рисков получить травму при выполнении профессиональных обязанностей был только у личного состава в Приволжском ФО – $(5,14 \pm 0,52) \cdot 10^{-4}$, высокий – в Северо-Кавказский ФО – $(20,83 \pm 2,51) \cdot 10^{-4}$, Дальневосточном ФО – $(19,92 \pm 3,25) \cdot 10^{-4}$ и Южном ФО – $(15,63 \pm 1,97) \cdot 10^{-4}$, средний – в остальных ФО России. Низкий уровень риска травмирования личного состава наблюдался в 21 регионе, средний – в 36, высокий – в 28 регионах России (табл.).



Рис. 2. Картограмма России по уровням риска получения травм личным составом оперативных подразделений МЧС России при выполнении служебных обязанностей в 2012–2021 гг.

Таблица. Уровни рисков получения травм и гибели личного состава оперативных подразделений МЧС России при выполнении служебных обязанностей по регионам и ФО России

Регион, ФО	Риск травмы, $\times 10^{-4}$	Риск гибели, $\times 10^{-5}$
1	2	3
Белгородская обл.	4,73 ± 2,12	9,46 ± 9,46
Брянская обл.	17,70 ± 7,00	9,83 ± 9,83
Владимирская обл.	8,55 ± 2,94	4,07 ± 4,07
Воронежская обл.	2,73 ± 1,33	3,42 ± 3,42
Ивановская обл.	12,85 ± 2,77	28,55 ± 15,78
Калужская обл.	13,80 ± 1,92	4,93 ± 4,93
Костромская обл.	15,81 ± 4,55	16,64 ± 16,64
Курская обл.	3,37 ± 1,37	8,42 ± 8,42
Липецкая обл.	10,81 ± 2,78	8,31 ± 8,31
Московская обл.	24,05 ± 3,30	14,43 ± 5,89
Орловская обл.	6,44 ± 3,13	16,09 ± 10,73
Рязанская обл.	9,45 ± 5,35	0 ± 0
Смоленская обл.	7,93 ± 0,88	13,22 ± 8,81
Тамбовская обл.	10,41 ± 3,80	20,81 ± 13,87
Тверская обл.	4,89 ± 1,46	0 ± 0
Тульская обл.	11,16 ± 2,10	3,85 ± 3,85
Ярославская обл.	10,20 ± 3,23	6,00 ± 6,00
Москва	15,59 ± 3,03	21,31 ± 6,57
Центральный ФО	13,25 ± 1,27	12,15 ± 3,01
Республика Карелия	8,37 ± 2,39	7,60 ± 7,60
Республика Коми	12,61 ± 3,05	26,27 ± 26,27
Архангельская обл.	10,55 ± 3,02	0 ± 0

Регион, ФО	Риск травмы, $\times 10^{-4}$	Риск гибели, $\times 10^{-5}$
1	2	3
Регион, ФО	Риск травмы, $\times 10^{-4}$	Риск гибели, $\times 10^{-5}$
Ненецкий автономный округ	22,73 \pm 11,57	0 \pm 0
Вологодская обл.	13,25 \pm 4,29	16,56 \pm 16,56
Калининградская обл.	20,42 \pm 4,09	7,86 \pm 7,86
Ленинградская обл.	6,31 \pm 2,07	3,32 \pm 3,32
Мурманская обл.	21,26 \pm 7,30	18,48 \pm 12,32
Новгородская обл.	16,21 \pm 3,44	10,13 \pm 10,13
Псковская обл.	8,37 \pm 2,09	10,46 \pm 10,46
Санкт-Петербург	19,34 \pm 2,72	16,51 \pm 3,60
Северо-Западный ФО	13,91 \pm 1,08	12,39 \pm 4,18
Республика Адыгея	28,43 \pm 10,88	0 \pm 0
Республика Калмыкия	13,01 \pm 3,93	0 \pm 0
Краснодарский край	11,53 \pm 2,14	4,68 \pm 2,38
Астраханская обл.	8,49 \pm 1,52	11,33 \pm 11,33
Волгоградская обл.	18,77 \pm 2,13	13,40 \pm 7,41
Ростовская область	21,22 \pm 4,96	12,27 \pm 5,26
Республика Крым	16,89 \pm 3,93	9,32 \pm 9,32
Севастополь	12,99 \pm 5,47	20,79 \pm 20,79
Южный ФО	15,63 \pm 1,97	8,94 \pm 2,27
Республика Дагестан	36,79 \pm 12,63	54,28 \pm 27,64
Республика Ингушетия	21,12 \pm 5,96	32,49 \pm 17,96
Чеченская Республика	7,83 \pm 1,90	0 \pm 0
Кабардино-Балкарская Республика	12,20 \pm 5,23	0 \pm 0
Карачаево-Черкесская Республика	24,41 \pm 5,48	0 \pm 0
Республика Северная Осетия – Алания	27,62 \pm 11,40	36,83 \pm 24,55
Ставропольский край	18,41 \pm 4,57	18,79 \pm 15,08
Северо-Кавказский ФО	20,83 \pm 2,51	20,83 \pm 5,81
Республика Башкортостан	6,25 \pm 1,04	13,88 \pm 7,07
Республика Марий Эл	5,16 \pm 2,21	0 \pm 0
Республика Мордовия	5,57 \pm 2,03	6,97 \pm 6,97
Республика Татарстан	3,18 \pm 0,83	5,31 \pm 2,70
Удмуртская Республика	7,00 \pm 2,54	0 \pm 0
Чувашская Республика	2,33 \pm 1,66	0 \pm 0
Пермский край	3,62 \pm 1,02	9,06 \pm 5,01
Кировская обл.	4,91 \pm 2,08	9,82 \pm 6,99
Нижегородская обл.	4,37 \pm 1,26	0 \pm 0
Оренбургская обл.	8,10 \pm 2,03	11,57 \pm 5,89
Пензенская обл.	1,27 \pm 0,85	0 \pm 0
Самарская обл.	9,36 \pm 1,85	11,34 \pm 6,27
Саратовская обл.	5,19 \pm 1,71	0 \pm 0
Ульяновская обл.	5,68 \pm 2,21	4,74 \pm 4,74
Приволжский ФО	5,14 \pm 0,52	5,87 \pm 1,17
Курганская обл.	9,59 \pm 3,16	5,33 \pm 5,33

Регион, ФО	Риск травмы, $\times 10^{-4}$	Риск гибели, $\times 10^{-5}$
1	2	3
Свердловская обл.	9,43 ± 1,09	2,66 ± 1,77
Тюменская обл.	8,43 ± 4,10	5,82 ± 5,82
Регион, ФО	Риск травмы, $\times 10^{-4}$	Риск гибели, $\times 10^{-5}$
Ханты-Мансийский автономный округ	9,87 ± 3,21	5,19 ± 3,46
Ямало-Ненецкий автономный округ	20,23 ± 5,81	0 ± 0
Челябинская обл.	14,45 ± 3,63	1,62 ± 1,62
Уральский ФО	11,49 ± 2,63	3,22 ± 1,00
Республика Алтай	19,69 ± 5,11	0 ± 0
Республика Тыва	6,00 ± 3,06	10,00 ± 10,00
Республика Хакасия	21,49 ± 5,80	0 ± 0
Алтайский край	4,87 ± 1,40	2,37 ± 2,37
Красноярский край	8,31 ± 1,06	9,28 ± 6,19
Иркутская обл.	9,15 ± 1,62	7,17 ± 4,90
Кемеровская обл.	13,17 ± 6,64	31,14 ± 19,07
Новосибирская обл.	12,78 ± 1,50	18,34 ± 9,11
Омская обл.	9,50 ± 1,66	7,50 ± 3,82
Томская обл.	10,70 ± 2,31	0 ± 0
Сибирский ФО	10,10 ± 1,17	11,64 ± 3,06
Республика Бурятия	42,75 ± 10,39	18,59 ± 18,59
Республика Саха – Якутия	11,57 ± 1,93	21,69 ± 11,05
Забайкальский край	11,65 ± 1,94	5,82 ± 5,82
Камчатский край	45,45 ± 31,03	0 ± 0
Приморский край	13,99 ± 3,95	8,48 ± 5,65
Хабаровский край	23,33 ± 5,88	19,99 ± 8,89
Амурская обл.	18,17 ± 4,28	18,17 ± 12,11
Магаданская обл.	6,67 ± 2,22	0 ± 0
Сахалинская обл.	23,54 ± 3,90	0 ± 0
Еврейская автономная обл.	34,70 ± 8,73	0 ± 0
Чукотский автономный округ	22,01 ± 6,71	0 ± 0
Дальневосточный ФО	19,92 ± 3,25	11,45 ± 2,61
Российская Федерация	11,57 ± 0,68	9,49 ± 1,37

Риск гибели личного состава оперативных подразделений МЧС России при выполнении служебных обязанностей составил $(9,49 \pm 1,37) \cdot 10^{-5}$, работников-мужчин по экономике России был практически аналогичный – $(9,84 \pm 0,56) \cdot 10^{-5}$.

При очень высоком коэффициенте детерминации полиномиальный тренд риска гибели на производстве работников-мужчин показывает уменьшение данных личного состава МЧС России при очень низком коэффициенте детерминации – тенденцию увеличения показателей (рис. 3). Конгруэнтность трендов рисков гибели – низкая отрицательная и статистически недостоверная ($r = -0,032$; $p > 0,05$), что может указывать на влияние в развитии рисков разных (разнонаправленных) факторов.

Исходя из принятой методики, низкий уровень риска гибели был меньше $6,33 \cdot 10^{-5}$, средний от $-6,33 \cdot 10^{-5}$ до $12,65 \cdot 10^{-5}$, высокий – больше $12,65 \cdot 10^{-5}$.

Среднегодовой риск гибели при выполнении служебных обязанностей личного состава ФПС МЧС России составил $(7,80 \pm 0,74) \cdot 10^{-5}$, СВФ МЧС России – $(37,32 \pm 19,10) \cdot 10^{-5}$, ПСФ

МЧС России – $(20,45 \pm 8,13) \cdot 10^{-5}$, ВГСЧ МЧС России – $(38,65 \pm 20,14) \cdot 10^{-5}$, ГИМС МЧС России – $(5,36 \pm 3,81) \cdot 10^{-5}$. Низкий риск гибели наблюдался у личного состава ГИМС МЧС России, средний – ФПС МЧС России, в остальных службах, осуществляющих оперативную деятельность, – высокий.



Рис. 3. Динамика рисков гибели личного состава оперативных подразделений МЧС России и работников-мужчин России

На рис. 4 представлена картограмма России с уровнями рисков гибели личного состава по ФО, в таблице – по регионам России. Оказалось, что низкий уровень рисков погибнуть при выполнении профессиональных обязанностей был у личного состава в Уральском ФО – $(3,22 \pm 1,00) \cdot 10^{-5}$ и Приволжском ФО – $(5,87 \pm 1,17) \cdot 10^{-5}$, высокий – в Северо-Кавказском ФО – $(20,83 \pm 5,81) \cdot 10^{-5}$, средний – в остальных ФО России (табл.). Низкий уровень риска гибели личного состава наблюдался в 40 регионах, средний – в 21, высокий – в 24 регионах (табл.).



Рис. 4. Картограмма России по уровням риска гибели личного состава оперативных подразделений МЧС России при выполнении служебных обязанностей в 2012–2021 гг.

Заключение

1. Риск производственного травматизма личного состава оперативных подразделений МЧС России в 2012–2021 гг. составил $(11,57 \pm 0,68) \cdot 10^{-4}$, работников-мужчин по экономике России был статистически достоверно больше – $(16,50 \pm 0,68) \cdot 10^{-4}$ ($p < 0,01$). Низкий уровень рисков получить травму при выполнении профессиональных обязанностей был только у личного состава в Приволжском ФО – $(5,14 \pm 0,52) \cdot 10^{-4}$, высокий – в Северо-Кавказском ФО – $(20,83 \pm 2,51) \cdot 10^{-4}$, Дальневосточном ФО – $(19,92 \pm 3,25) \cdot 10^{-4}$ и Южном ФО – $(15,63 \pm 1,97) \cdot 10^{-4}$, средний – в остальных ФО России.

2. Риск гибели личного состава оперативных подразделений МЧС России при выполнении профессиональных обязанностей составил $(9,49 \pm 1,37) \cdot 10^{-5}$, у работников-мужчин по экономике России он оказался практически аналогичным – $(9,84 \pm 0,56) \cdot 10^{-5}$. Низкий уровень рисков гибели был у личного состава в Уральском ФО – $(3,22 \pm 1,00) \cdot 10^{-5}$ и Приволжском ФО – $(5,87 \pm 1,17) \cdot 10^{-5}$, высокий – в Северо-Кавказском ФО – $(20,83 \pm 5,81) \cdot 10^{-5}$, средний – в остальных ФО России.

3. Учет и профилактика рисков получения травм и гибели при выполнении служебных обязанностей личным составом оперативных подразделений МЧС России позволяет минимизировать их, а также рассчитать силы и средства для предупреждения травматизма.

Список источников

1. Gammarano R. Quick guide on sources and uses of statistics on occupational safety and health. Geneva: International Labour Organization, 2020. 39 p.
2. Safety and health at the heart of the future of work: building on 100 years of experience. Geneva: International Labour Organization, 2019. 82 p.
3. Global estimates of the burden of injury and illness at work in 2012 / J. Takala [et al.] // Journal of occupational and environmental hygiene. 2014. Vol. 11. P. 326–337. DOI: 10.1080/15459624.2013.863131.
4. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 14.05.2022).
5. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 / J.D. Stanaway [et al.] // Lancet. 2018. Vol. 392. № 10159. P. 1923–1994. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30750-9.
6. Особенности мониторинга рисков производственного травматизма в России и странах Европейского союза / И.П. Карначев [и др.] // Горный журнал. 2020. № 12. С. 87–91. DOI: 10.17580/gzh.2020.12.20.
7. Евдокимов В.И., Бобринев Е.В., Кондашов А.А. Анализ производственного травматизма и гибели личного состава Федеральной противопожарной службы МЧС России (2006–2020 гг.): монография. Сер.: Заболеваемость военнослужащих / науч. ред. В.И. Евдокимов. СПб.: Измайловский, 2022. Вып. 18. 138 с.
8. Обстоятельства профессионального травматизма и гибели личного состава Федеральной противопожарной службы МЧС России (2010–2020 гг.) / В.И. Евдокимов // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2021. № 4. С. 5–19. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-4-05-19.
9. Банк статистических данных по заболеваемости, травматизму, инвалидности и гибели личного состава подразделений МЧС России при выполнении служебных обязанностей: свидетельство о регистрации базы данных № 2015621061 RU / А.А. Порошин [и др.], правообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т противопожар. обороны МЧС России; заявка № 2015620391, 17.04.2015; опубл. 13.07.2015.
10. Методики оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций (руководство по оценке рисков чрезвычайных ситуаций

техногенного характера, в том числе при эксплуатации критически важных объектов Российской Федерации) / В.А. Акимов [и др.] // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4. № 4. С. 368–377.

11. Трбоевич В.М. Критерии риска в странах ЕС // Проблемы анализа риска. 2004. № 2. С. 106–115.

12. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Финансы и статистика. 2015. 320 с.

References

1. Gammarano R. Quick guide on sources and uses of statistics on occupational safety and health. Geneva: International Labour Organization, 2020. 39 p.

2. Safety and health at the heart of the future of work: building on 100 years of experience. Geneva: International Labour Organization, 2019. 82 p.

3. Global estimates of the burden of injury and illness at work in 2012 / J. Takala [et al.] // Journal of occupational and environmental hygiene. 2014. Vol. 11. P. 326–337. DOI: 10.1080/15459624.2013.863131.

4. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki (Rosstat). URL: <https://rosstat.gov.ru> (data obrashcheniya: 14.05.2022).

5. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 / J.D. Stanaway [et al.] // Lancet. 2018. Vol. 392. № 10159. P. 1923–1994. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30750-9.

6. Osobennosti monitoringa riskov proizvodstvennogo travmatizma v Rossii i stranah Evropejskogo soyuza / I.P. Karnachev [i dr.] // Gornyj zhurnal. 2020. № 12. S. 87–91. DOI: 10.17580/gzh.2020.12.20.

7. Evdokimov V.I., Bobrinev E.V., Kondashov A.A. Analiz proizvodstvennogo travmatizma i gibeli lichnogo sostava Federal'noj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii (2006–2020 gg.): monografiya. Ser.: Zabolevaemost' voennosluzhashchih / nauch. red. V.I. Evdokimov. SPb.: Izmajlovskij, 2022. Vyp. 18. 138 s.

8. Obstoitel'stva professional'nogo travmatizma i gibeli lichnogo sostava Federal'noj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii (2010–2020 gg.) / V.I. Evdokimov // Med.-biol. i soc.-psihol. probl. bezopasnosti v chrezvychajnyh situacijah. 2021. № 4. S. 5–19. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-4-05-19.

9. Bank statisticheskikh dannyh po zabolevaemosti, travmatizmu, invalidnosti i gibeli lichnogo sostava podrazdelenij MCHS Rossii pri vypolnenii sluzhebnyh obyazannostej: svidetel'stvo o registracii bazy dannyh № 2015621061 RU / A.A. Poroshin [i dr.], pravoobladatel' Vseros. nauch.-issled. in-t protivopozhar. oborony MCHS Rossii; zayavka № 2015620391, 17.04.2015; opubl. 13.07.2015.

10. Metodiki ocenki riskov chrezvychajnyh situacij i normativy priemlemogo riska chrezvychajnyh situacij (rukovodstvo po ocenke riskov chrezvychajnyh situacij tekhnogennogo haraktera, v tom chisle pri ekspluatcii kriticheski vazhnyh ob"ektov Rossijskoj Federacii) / V.A. Akimov [i dr.] // Problemy analiza riska. 2007. Т. 4. № 4. С. 368–377.

11. Trboevich V.M. Kriterii riska v stranah ES // Problemy analiza riska. 2004. № 2. С. 106–115.

12. Afanas'ev V.N., Yuzbashev M.M. Analiz vremennyh ryadov i prognozirovanie. М.: Finansy i statistika. 2015. 320 s.

Информация об авторах:

Евдокимов Владимир Иванович, главный научный сотрудник Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 4/2), доктор медицинских наук, профессор, e-mail: 9334616@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0771-2102>

Бобринев Евгений Васильевич, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат биологических наук, e-mail: otdel_1_3@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8169-6297>

Кондашов Андрей Александрович, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат физико-математических наук, e-mail: akond2008@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2730-1669>

Удавцова Елена Юрьевна, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат технических наук, e-mail: otdel_1_3@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1343-0849>

Information about the authors:

Evdokimov Vladimir I., principal research associate of Nikiforov russian center of emergency and radiation medicine of EMERCOM of Russia (194044, Saint-Petersburg, Academica Lebedeva str., 4/2,), doctor of medical sciences professor, e-mail: 9334616@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0771-2102>

Bobrinev Evgenii V., leading research associate of All-Russian research institute for fire protection of EMERCOM of Russia (143903, Moscow region, Balashikha, mkr. VNIPO, 12), candidate of biological sciences, e-mail: otdel_1_3@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8169-6297>

Kondashov Andrei A., leading research associate of All-Russian research institute for fire protection of EMERCOM of Russia (mkr. VNIPO, 12, Balashikha, Moscow region, 143903, Russia), candidate of physical and mathematical sciences, e-mail: akond2008@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2730-1669>

Udvtsova Elena Yu., leading research associate of All-Russian research institute for fire protection of EMERCOM of Russia (mkr. VNIPO, 12, Balashikha, Moscow region, 143903, Russia), candidate of technical sciences, e-mail: otdel_1_3@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1343-0849>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 27.09.2022; одобрена после рецензирования: 14.10.2022; принята к публикации: 15.10.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 27.09.2022; approved after review: 14.10.2022; accepted for publication: 15.10.2022

Научная статья

УДК 656.13(1-21):621.43.06:504.3.064

О НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Гавкалюк Богдан Васильевич;

✉ **Ложкин Владимир Николаевич.**

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ **vnlojkin@yandex.ru**

Аннотация. Применительно к техническому состоянию эксплуатируемого в России парка пожарных автомобилей в качестве стратегического средства повышения их экологических свойств предлагается каталитический нейтрализатор отработавших газов, разработанный в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России. В статье приводятся результаты испытаний нейтрализатора отработавших газов для пожарных автомобилей с дизелем КАМАЗ, конструкция которого позволяет одновременно обезвреживать токсичные вещества несгоревшего топлива и глушить шум выпуска отработавших газов. Каталитический нейтрализатор обеспечивает, по уровню шума, соответствие требованиям серийного глушителя – менее 96 дБА; по выбросу поллютантов – уменьшение СО до 90 %, СН до 67 %, а при автономном разогреве матриц до 660 °С – уменьшение РМ_{2,5} до 75 %.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, экологическая безопасность, поллютанты, каталитический нейтрализатор – глушитель шума

Для цитирования: Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н. О научно-технической стратегии улучшения экологических характеристик пожарных автомобилей на современном этапе // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 73–79.

ON THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL STRATEGY FOR IMPROVING THE ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF FIRE VEHICLES AT THE PRESENT STAGE

Gavkalyuk Bogdan V.;

✉ **Lozhkin Vladimir N.**

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ **vnlojkin@yandex.ru**

Abstract. With regard to the technical condition of the fleet of fire trucks operated in Russia, as a strategic means of improving their environmental properties, a catalytic converter of exhaust gases, developed at Saint-Petersburg university of the state fire service of EMERCOM of Russia, is proposed. The article presents the test results of an exhaust gas converter for fire trucks with a KAMAZ diesel engine, the design of which allows you to simultaneously neutralize the toxic substances of unburned fuel and muffle the exhaust noise. The catalytic converter provides, in terms of noise level, compliance with the requirements of a serial silencer – less than 96 dBA; in terms of pollutant emissions – reduction of CO to 90 %, CH to 67 %, and with autonomous heating of matrices to 660 °C – reduction of PM_{2,5} to 75 %.

Keywords: fire truck, environmental safety, pollutants, catalytic converter – noise suppressor

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

For citation: Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N. On the scientific and technical strategy for improving the environmental characteristics of fire vehicles at the present stage // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 73–79.

Введение. Состояние проблемы

Пожарные автомобили (ПА) являются главными средствами технического обеспечения своевременного реагирования пожарно-спасательных подразделений на чрезвычайные ситуации (ЧС) природного и техногенного характера [1–4]. В отработавших газах (ОГ) поршневых двигателей ПА содержатся вредные (загрязняющие) химические вещества CO, CH, NO_x, бензо(α)пирен, PM_{2,5}, PM₁₀ [4, 5] и парниковые газы, способные изменить климат [5], нанести значительный урон здоровью населения [6] и личного состава пожарно-спасательных подразделений (боевых расчетов), осуществляющих эксплуатацию ПА в реальных условиях [2, 4], в том числе функционирующих на особо экологически охраняемых территориях [6].

Решение проблемы экологической безопасности эксплуатации поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) ПА для населения и окружающей среды в городах и на особо охраняемых территориях Российской Федерации, по мнению авторов, с высокой степенью достоверности может быть обеспечено в границах приемлемого риска, – путем реализации научно-технической стратегии (концепции), вытекающей из анализа возникших критических противоречий и условий.

Основным противоречием, актуализирующим работу, является обострение внешнеполитической обстановки, а условием – существенный «моральный износ» и неудовлетворительное экологическое состояние парка ПА, состоящих на вооружении. Внешнеполитическая обстановка затрудняет применение ПА с силовыми установками 4 и 5 экологических классов [7] из-за ограничений в поставках комплектующих зарубежного производства. В структуре парка ПА по регионам на состояние 2021 г. была зарегистрирована значительная доля высоковозрастных бензиновых и дизельных автомобилей с неустановленным экологическим классом (рис. 1 [8]).



Рис. 1. Возраст и экологическое состояние парка ПА в ГУ МЧС России по Красноярскому краю на 2021 г. [8]

Следует отметить, однако, что специфика применения пожарных машин такова, что, несмотря на высокую степень «морального износа», парк ПА сохранил 50–70 % своего технического ресурса. Это объясняется тем, что пробег за 10–15 лет эксплуатации ПА, как правило, не превышает 30–35 тыс. км, а благодаря своевременному, профессиональному и ответственному проведению планово-предупредительных работ по техническому обслуживанию и техническому ремонту, осуществляемому силами МЧС России, решение оперативно-боевых задач аварийного реагирования при ЧС, включая локализацию и тушение пожаров, обеспечивается в полном объеме [1, 8]. Но сегодня этого уже недостаточно [2, 9].

Как было предложено в работе [2], стратегия решения проблемы должна основываться на комплексе национальных доступных к пониманию, разработке и применению «инструментов», а именно: адекватных физико-химических моделей рабочих процессов сгорания топлива в ДВС (новых знаний) и обоснованных расчетами и экспериментами технологий и устройств для технического безразборного диагностирования отказов ДВС, устройств каталитической нейтрализации – глушителей шума (КНГ) и водно-топливных микро-эмульсий (ВТЭ). В статье обосновывается одна из составляющих предложенной авторами [2] концепции решения проблемы путем применения многоцелевого КНГ.

Методика и результаты исследования

Для обоснования концепции была разработана физическая модель многоцелевого устройства (рис. 2) каталитического нейтрализатора-глушителя шума выпуска ОГ для оценки потенциальных возможностей (ожидаемой экологической эффективности) предлагаемой стратегической концепции.

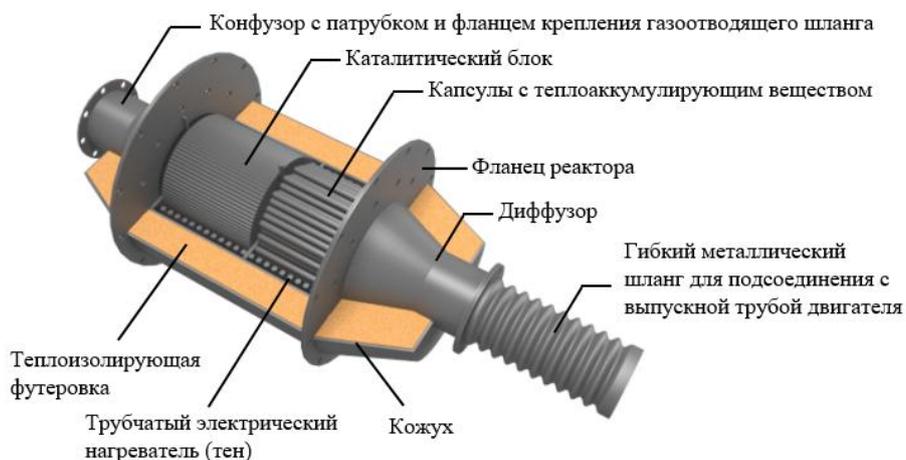


Рис. 2. Схема многоцелевой физической модели КНГ

Модель представляет собой виртуальное объединение гипотетических модулей, функционально работающих на реализацию улучшения экологических характеристик ПА для эксплуатационного диапазона нагрузочных и скоростных режимов применительно к дизелям ПАО «КАМАЗ», а именно:

– аккумулятора тепла ОГ фазового перехода с капсулами, заполненными теплоаккумулирующим веществом [9, 10], для которого значения температуры кристаллизации находится в области значений температур эффективного действия платинового катализатора ОГ дизелей;

– каталитического блока (каталитического нейтрализатора – КН), выполненного на блочных металлических матрицах $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ [9, 10] (у авторов имеется также внедренческий

опыт использования для реализации данной цели на городских автобусах с дизельными двигателями, каталитических блоков с гранулированным носителем $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ [9]);

– трубчатого электрического нагревателя («тэна») для принудительного разогрева каталитического блока до эффективной температуры [9, 11] (имеется также опыт использования для реализации данной цели, для ПА с дизельными двигателями, – разогрева металлической матрицы электрическим током [11]; электрический ток пропускается через жаропрочную фольгу (50 мкм) носителя блочного катализатора).

В таблице показан уровень проработки в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России каждого из отмеченных модулей на сегодняшний день и ожидаемые результаты их эффективности, подтвержденные расчетами по адекватным моделям и экспериментами [9–11].

Таблица. Состояние проработки модулей концепции «Многоцелевой каталитический нейтрализатор-глушитель шума»

№ п/п	Наименование технологического модуля	Уровень проработки в составе КНГ, ссылки на источники, оригинальность	Ожидаемая эффективность в составе КНГ, ссылки на источники, апробация
1	ТАФП	Национальные: физическая и математическая модели процессов, инженерная методика расчета конструкций, предложено впервые [9, 10]	Ожидается эффективность КНГ по уровню шума – менее 96 дБА; по выбросу поллютантов – уменьшение СО до 90 %, СН до 67 %, а при автономном разогреве матриц до 660 °С – уменьшение РМ _{2,5} до 75 %. Апробация подтверждается: постановкой отдельных модулей на промышленное производство, положительными результатами стеновых лабораторных и сертификационных испытаний, расчетами по адекватным моделям [9–11]
2	КН	Национальные: физическая и математическая модели процессов, технологии и инженерная методика расчета конструкций, предложено впервые [9–11]	
3	«Тэны», РММЭТ	Технологии и инженерные методики расчета конструкций на принципах теплотехники, предложено впервые [9–11]	

Предлагается конструировать каталитические блоки на металлическом гофрированном носителе круглого сечения (рис. 2). Это обеспечит равномерное распределение ОГ в объеме реактора по его сечению и завершенность химических реакций каталитического окисления. Мембранный профиль ленточного металлического носителя позволит гасить ударные волны в потоке ОГ, формирующиеся как следствие цикличности тактов взрывного сгорания топливоздушная смеси в цилиндрах двигателя.

Как показали теоретические и экспериментальные исследования [9–11], в целях достижения требуемой эффективности очистки ОГ от вредных (загрязняющих) веществ (ВВ) и при этом экономии драгоценного катализатора платины, для дизельных двигателей производства ПАО «КАМАЗ» мощностью 150–220 кВт общий объем реактора, в зависимости от плотности распределения сотовых каталитических ячеек матрицы, целесообразно иметь 7–9 л. Теплоизолирующая футеровка реактора КНГ с внешней его стороны (рис. 2) позволит, во-первых, сократить потери им тепла в окружающую среду, а во-вторых, – повысить безопасность людей, в том числе водителей и обслуживающего персонала, которые могут оказаться в опасной зоне мощного излучения тепла от реактора КНГ.

Совмещение функций очистки от ВВ и глушения шума на выпуске ОГ в атмосферу сделало актуальной проверку эффективности как их конверсии (обезвреживания), так и ослабления акустического звукового давления внутри КНГ. Путем измерения уровня внешнего шума от пожарного автомобиля АЦ-5-40(43101)ПМ524 со штатным глушителем шума и экспериментальным КНГ осуществлялся контроль (как это предписывается [7]) при работе дизеля в режиме холостого хода на оборотах $n = 0,75 n_{ном.} = 2\ 000\ \text{мин}^{-1}$ (здесь $n_{ном.}$ – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя).

Уровень звукового давления контролировался в области частот от 31,5 Гц до 8 кГц на октавных полосах и по корректорной частотной характеристике «А». Микрофон измерителя шума размещался под углом 45° к продольной линии (оси) потока ОГ в месте, находящемся на расстоянии 0,5 м от точки выхода потока ОГ из выпускной трубы и на расстоянии 0,3 м от уровня площадки, на которой стоял испытуемый ПА. По уровню шума КНГ был сопоставим со штатным глушителем шума и в среднем уложился в область 72–96 дБА для диапазона оборотов дизеля 600–2800 мин⁻¹.

Для увеличения эффективности каталитической нейтрализации ОГ был применен электрический подогрев ленточного носителя матриц КНГ. Сила тока в электрической цепи поддерживалась 410 А при падении напряжения на клеммах подогреваемых матриц 19 В. Мощность, затрачиваемая на нагрев, составила, приблизительно, 7,8 кВт. Время подогрева матриц от 20 °С до 200 °С продолжалось, в среднем, 9 с, а до 660 °С – 32 с.

Исследования показали, что подогрев матриц до 660 °С существенно повышает эффективность процесса катализа при холодном пуске двигателя и при его работе на холостом ходу; при этом было зафиксировано уменьшение концентрации в ОГ СО на 75–77 %, СН – на 43–47 %; при этом дымность ОГ (которая эквивалентна концентрации в них РМ_{2,5}) уменьшалась на 75 %. На режиме эксплуатационной мощности принудительный электрический подогрев матриц КНГ не требовался. Испытания, проведенные в ПАО «КАМАЗ» на режимах работы дизеля по нагрузочным характеристикам, продемонстрировали высокую эффективность КНГ: 90 % по уменьшению выброса с ОГ СО и 67 % – по СН [20].

Заключение

Предлагаемые на основе проведенных обосновывающих научных исследований и положительных результатов внедрения новые технические и технологические решения, реализованные в предлагаемом устройстве КНГ (совместно с авторскими технологиями ВТЭ [2]), позволят повысить экологический уровень силовых установок ПА по СО, СН, NO_x, бензо(α)пирену, РМ и парниковым газам в условиях их реальной эксплуатации, включая особо экологически охраняемые территории Российской Федерации, не менее чем на два экологических класса от достигнутого уровня. Это полностью соответствует удовлетворению требований (для данного вида техники) Постановления Правительства Российской Федерации от 15 июня 2022 г. № 1269 «О внесении изменений в Правила применения обязательных требований в отношении отдельных колесных транспортных средств и проведения оценки их соответствия» [7].

Список источников

1. Логинов В.И., Навценя Н.В., Яковенко К.Ю. Концепция развития пожарно-спасательной техники на период до 2030 года // Пожарная безопасность. 2019. № 1. С. 85–91.
2. Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н. Теоретическая концепция контроля топливно-экономических параметров управляемого процесса горения в силовых агрегатах пожарных машин // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 1 (53). С. 65–71.
3. Emission ratios of trace gases and particles for Siberian forest fires on the basis of mobile ground observations / A. Vasileva [et al.] // Obukhov institute of atmospheric physics. 2017. Vol. 17. № 20. P. 12303–12325. DOI: 10.5194/acp-17-12303-2017.
4. Weilenmann M., Favez J.-Y., Alvarez R. Cold-start emissions of modern passenger cars at different low ambient temperatures and their evolution over vehicle legislation categories // Atmospheric environment. 2009. № 43. P. 2419–2429. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.02.005.
5. Wael K. Al-Delaimy and others health of people, health of planet and our responsibility // Climate change, air pollution and health. Cham: Springer nature 2020. 417 s. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.
6. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году: гос. доклад Министерства природных ресурсов и экологии Рос. Федерации. URL:

<https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/821/%D0%93%D0%94-2018.pdf> (дата обращения: 21.08.2022).

7. О внесении изменений в Правила применения обязательных требований в отношении отдельных колесных транспортных средств и проведения оценки их соответствия: постановление Правительства Рос. Федерации от 15 июня 2022 г. № 1269. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207180029> (дата обращения: 11.08.2022).

8. Сацук И.В. Закономерности распределения и технического состояния эксплуатируемых пожарных автомобилей по показателям конструктивной безопасности силовых установок // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 2. С. 31–38. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.27.97.004.

9. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V. Catalytic converter with storage device of exhaust gas heat for city bus // Transportation research procedia. 2017. Vol. 20. P. 412–417. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.067.

10. Ложкин В.Н., Шульгин В.В., Максимов М.А. О моделировании систем очистки отработавших газов ДВС с использованием нейтрализаторов и тепловых аккумуляторов фазового перехода // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2011. № 3 (17). С. 46–51.

11. Саватеев А.И. Модификация систем выпуска отработавших газов пожарных автомобилей, разогреваемыми каталитическими конверторами: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2002. 163 с.

References

1. Loginov V.I., Navcena N.V., Yakovenko K.Yu. Konceptiya razvitiya pozharno-spasatel'noj tekhniki na period do 2030 goda // Pozharnaya bezopasnost'. 2019. № 1. S. 85–91.

2. Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N. Teoreticheskaya koncepciya kontrolya toplivno-ekonomicheskikh parametrov upravlyаемого processa gorenija v silovyh agregatah pozharnyh mashin // Problemy upravlenija riskami v tekhnosfere. 2020. № 1 (53). S. 65–71.

3. Emission ratios of trace gases and particles for Siberian forest fires on the basis of mobile ground observations / A. Vasileva [et al.] // Obukhov institute of atmospheric physics. 2017. Vol. 17. № 20. P. 12303–12325. DOI: 10.5194/acp-17-12303-2017.

4. Weilenmann M., Favez J.-Y., Alvarez R. Cold-start emissions of modern passenger cars at different low ambient temperatures and their evolution over vehicle legislation categories // Atmospheric environment. 2009. № 43. P. 2419–2429. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.02.005.

5. Wael K. Al-Delaimy and others health of people, health of planet and our responsibility // Climate change, air pollution and health. Cham: Springer nature2020. 417 s. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.

6. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году: гос. доклад Министерства природных ресурсов и экологии Рос. Федерации. URL: <https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/821/%D0%93%D0%94-2018.pdf> (дата обращения: 21.08.2022).

7. О внесении изменений в Правила применения обязательных требований в отношении отдельных колесных транспортных средств и проведения оценки их соответствия: постановление Правительства Рос. Федерации от 15 июня 2022 г. № 1269. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207180029> (дата обращения: 11.08.2022).

8. Sacuk I.V. Zakonomernosti raspredelenija i tekhnicheskogo sostojaniya ekspluatiruemyh pozharnyh avtomobilej po pokazatelyam konstruktivnoj bezopasnosti silovyh ustanovok // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2022. № 2. С. 31–38. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.27.97.004.

9. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V. Catalytic converter with storage device of exhaust gas heat for city bus // Transportation research procedia. 2017. Vol. 20. P. 412–417. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.067.

10. Lozhkin V.N., Shul'gin V.V., Maksimov M.A. O modelirovanii sistem oчитки otrabotavshih gazov DVS s ispol'zovaniem nejtralizatorov i teplovyh akkumulyatorov fazovogo perekhoda // Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa. 2011. № 3 (17). S. 46–51.

11. Savateev A.I. Modifikaciya sistem vypuska otrabotavshih gazov pozharnyh avtomobilej, razogrevaemymi kataliticheskimi konvertorami: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2002. 163 s.

Информация об авторах:

Гавкалюк Богдан Васильевич, начальник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: rector@igps.ru

Ложкин Владимир Николаевич, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: vnlojkin@yandex.ru

Information about the authors:

Gavkalyuk Bogdan V., supervisor of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: rector@igps.ru

Lozhkin Vladimir N., professor of the department of fire, rescue equipment and automobile economy of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: vnlojkin@yandex.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 14.11.2022; одобрена после рецензирования: 18.11.2022; принята к публикации: 06.12.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 14.11.2022; approved after review: 18.11.2022; accepted for publication: 06.12.2022

Научная статья

УДК 614.8, 621.3, 620.9

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ОБОСНОВАНИЯ ПОТРЕБНОСТИ АВТОНОМНОГО ПОЛЕВОГО ЛАГЕРЯ В ОСНОВНЫХ ВИДАХ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

✉ **Седнев Владимир Анатольевич.**

Академия ГПС МЧС России, Москва, Россия.

Седнев Анатолий Владимирович.

Московский государственный технический университет

им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

✉ **sednev70@yandex.ru**

Аннотация. Автономный полевой лагерь представляет оборудованный в инженерном отношении пункт временной дислокации, который предназначен для размещения личного состава подразделений различного назначения или пострадавшего в чрезвычайной ситуации населения и должен обеспечивать нормальную жизнедеятельность находящихся в нем людей в части обеспечения электроэнергией, водой, теплом, возможности использования электрической энергии для приготовления пищи.

Учитывая особенности размещения автономных полевых лагерей, целесообразно, с учетом требований к их оборудованию, заранее обосновывать системы их жизнеобеспечения и определять потребности в средствах для жизнеобеспечения людей. Поэтому в статье рассмотрены научно-методические подходы обоснования потребности людей в основных видах жизнеобеспечения, а также особенности использования электрической энергии для приготовления пищи, обеспечения водой и теплом в автономных полевых лагерях.

Ключевые слова: автономный полевой лагерь, потребители электрической энергии, жизнеобеспечение, организация, управление

Для цитирования: Седнев В.А., Седнев Ан.В. Научно-методические подходы обоснования потребности автономного полевого лагеря в основных видах жизнеобеспечения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 80–92.

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO SUBSTANTIATION THE NEEDS OF AN AUTONOMOUS FIELD CAMP IN THE MAIN TYPES OF LIFE SUPPORT

✉ **Sednev Vladimir A.**

Academy of State fire service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia.

Sednev Anatoly V.

Moscow state technical university them. N.E. Bauman (national research university),

Moscow, Russia

✉ **sednev70@yandex.ru**

Abstract. An autonomous field camp is an engineering-equipped temporary deployment point, which is designed to accommodate the personnel of various units or the population affected in an emergency situation, and must ensure the normal functioning of the people in it in terms of providing electricity, water, heat, and the possibility of using electric energy for cooking.

Taking into account the peculiarities of the placement of autonomous field camps, it is advisable, taking into account the requirements for their equipment, to justify their life support systems in advance and determine the needs for means for people's life support. Therefore, the article

considers scientific and methodological approaches to substantiate people's needs for basic life support, as well as the features of using electric energy for cooking, providing water and heat in autonomous field camps.

Keywords: autonomous field camp, electric energy consumers, life support, organization, management

For citation: Sednev V.A., Sednev An.V. Scientific and methodological approaches to substantiate the needs of an autonomous field camp in the main types of life support // Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 80–92.

Введение

На начальном этапе создания автономного полевого лагеря отсутствует его информационное обеспечение (состав функциональных зон, потребителей и др.) и объекты электроснабжения – потребители не классифицированы по назначению [1–2], поэтому существующие методы расчета электрических нагрузок не могут быть использованы без изменений, и целесообразно заранее обосновывать систему электроснабжения автономного полевого лагеря, определять потребности в средствах для жизнеобеспечения людей, рассматривать особенности использования электроэнергии для приготовления пищи, обеспечения водой и теплом в автономных полевых лагерях.

Система электроснабжения автономного полевого лагеря включает источники электрической энергии, комплекты кабельной сети, потребители электрической энергии и элементы инфраструктуры, обеспечивающие функционирование системы электроснабжения. Основным типом автономного полевого лагеря является палаточный городок. Исходными данными для его оборудования являются: имеющееся время на возведение; численность размещаемых людей и техники; необходимость рассредоточенного расположения; санитарно-гигиенические и другие требования.

Основными потребителями автономных полевых лагерей будут являться средства жизнеобеспечения в сооружениях для размещения людей. Электрические нагрузки случайные и они потребляют наибольшее количество электрической энергии. Рассматриваемые научно-методические подходы ориентированы на максимизацию эффективности жизнеобеспечения автономного полевого лагеря в условиях возможных ресурсных ограничений.

Основные математические выражения для обоснования потребности автономного полевого лагеря в основных видах жизнеобеспечения

Математическая модель обоснования потребности автономного полевого лагеря в основных видах жизнеобеспечения представляет собой совокупность и последовательность расчетных формул [1–13], по которым на основе входной информации определяются требуемые показатели.

При отсутствии местных топливных ресурсов в районе размещения автономного полевого лагеря приготовление пищи удобнее производить при помощи электронагревательных приборов. Электрическая энергия отвечает требованиям прочности сооружений, и для приготовления пищи в больших количествах могут использоваться электрические котлы, имеющие режимы варки и подогревания пищи (табл. 1).

Пища готовится обычно в походных кухнях (КП-125М, КП-130 и др.) и доставляется в термосах, а вода кипятится кипяtilьниками, но часты случаи, когда людям приходится готовить себе пищу или разогревать ее в котелках и котлах. Расчет их объема следует вести по нормам, л/чел.: для супов – по 1,2; для каши – по 0,6; для кипятка – по 1; например, кухня на 6 котлов (по 250 л) позволяет приготовить пищу примерно на 800 чел. (каша, суп).

Если подсчитать количество электроэнергии, необходимой для приготовления пищи из продуктов продовольственного пайка, то она равна 0,35 кВтч/чел.

Таблица 1. Количество электрической энергии, необходимой для приготовления пищи

Характер процесса, действие	Количество	Расход энергии, Вт·ч
Кипячение воды	1 л	125
Суп сварить	1 л	210
Мясо сварить	1 кг	210
Рыбу сварить	1 кг	280
Мясо зажарить	1 кг	500
Картофель сварить, зажарить	1/1 кг	190/250
Кашу сварить	1 кг	300
Овощи сварить	1 кг	200
Хлеб испечь	1 кг	300

Приготовление двух литров кипятка потребует 0,25 кВт·ч, то есть для питания одного человека потребуется 0,6 кВт·ч электроэнергии в сутки. При этом:

для кухонь:

– прицепных КП-125М, КП-130: расход топлива жидкого ДТ – 7–10 кг/ч; твердого, дрова влажные 21–33 % – 28–32 кг/ч; время закипания воды, мин: на жидком топливе – 55–65; на твердом – 80–95;

– для очажных переносных КО-75 (на 75 чел.) (КП-20) расход топлива: жидкого – 3,5–5 (1,6) кг/ч; твердого – 18 (8) кг/ч; время закипания воды, мин: на жидком топливе 30–35, на твердом 25–40;

– для переносных кипятильников ПНК-2 (котел на 110 л): расход топлива (дрова влажные) – 20–25 кг; время закипания воды, мин: на твердом топливе – 50–60, масса сухая – 116 кг;

– для плит переносных ПП-40-01, ПП-1 (количество питающихся 40 чел., бак топливный на 12 л): время закипания воды – 55–75 мин; расход топлива жидкого 0,6–2 кг/ч; твердого – 9 (10–15) кг/ч.

В полевых условиях подразделения, обеспечивающие развертывание автономных полевых лагерей, могут обеспечиваться плитами переносными ПП-40, кухнями МК-30 (МК-10), для транспортировки и хранения питьевой воды – переносной цистерной ЦПТ-0,4 и др.

Переносная кухня МК-30 (бак топливный на 8 л, расход топлива: жидкого 0,6–2, твердого – 9 кг/ч) имеет два котла: вместимостью 26 л (для первого блюда) и 16 л (для второго), что позволяет готовить горячую пищу на 30 чел. Время закипания воды, мин: на жидком топливе 25–30, на твердом – 35–40, масса кухни – 83,5 кг.

Переносная кухня МК-10 (бак топливный 8 л, расход топлива: жидкого 0,6–2, твердого 9 кг/ч) имеет три котла: два по 5 л для первого блюда и один на 5 л для второго, что позволяет готовить горячую пищу на 10 чел. Время закипания воды, мин: на жидком топливе – 20–25, на твердом – 30–35, масса кухни – 44 кг.

Приготовление пищи требует около 2,5 ч, поэтому мощность котлов для варки $0,35/2,5=0,14$ кВт/чел; приготовление кипятка – 1,5 ч (3 раза по 0,5 ч), отсюда мощность кипятильников $0,25/1,5=0,16$ кВт/чел.

Общая мощность приборов – 0,30 кВт/чел. Приборы для приготовления кипятка бывают периодического и непрерывного действия. В полевых условиях используют приборы периодического действия (водогрейные котлы, кипятильники).

Для разогрева готовой пищи расход электроэнергии можно принять 0,3–0,4 от потребной для приготовления. Так, получаем значение расхода электроэнергии и мощности приборов для приготовления пищи (на человека) (табл. 2).

Общая потребность в электроэнергии суммируется с учетом приготовления пищи (обед, ужин, завтрак) и кипятка. В числителе приведен расход электрической энергии в кВт·ч; в знаменателе – установленная мощность приборов в кВт.

Подогрев воды может также потребоваться для санитарной обработки людей, так как люди должны иметь возможность помыться и постирать белье. Иногда эти задачи решаются собственными силами, для чего могут использоваться электроводонагреватели (табл. 3).

Таблица 2. Потребность в электрической энергии для приготовления и разогревания пищи

Характер процесса	Приготовление пищи		Разогревание пищи (в малых количествах)
	В большом количестве	В малых количествах	
Обед, ужин, завтрак	0,35/0,14	0,4/0,16	0,15/0,16
Приготовление кипятка	0,25/0,16	0,3/0,2	0,3/0,2

Таблица 3. Основные характеристики отдельных типов электроводонагревателей

Тип электроводонагревателя	УНС-50	УНС-80	УНС-100
Вместимость бака, л	50	80	100
Мощность, кВт	1,25	1,25	1,25
Максимальная температура воды, °С	85	85	85
Время нагрева воды, ч	3,2	6,3	7,8
Скорость остывания воды, град/ч	0,7	0,7	0,7
Масса, кг	30	40	46

Расход воды на одного моющегося в полевой бане: горячей, нагретой до 80 °С, – 20 л, холодной – 40 л. По известным данным (в случае одновременной стирки 50 % подразделения, которое обеспечивает функционирование автономного полевого лагеря) (14 чел.), один человек на стирку белья тратит 0,5 ч, горячей воды – 6 л (менее 50 % от нормы) и холодной – 2,5 л, $t_{\text{хол}} = +10$ °С, $t_{\text{гор}} = +60$ °С, тогда расход воды в час составляет: горячей – 168 л, холодной – 70 л, а включая запас холодной воды для пополнения горячей, который равен часовому запасу, расход горячей составит 238 л.

Кроме этого, должен быть минимальный запас воды из расчета 5–8 л на 1 чел/сут на срок не более 3 сут и дополнительно бак кипяченой воды объемом 40–60 л на группу людей или подразделение (28–30 чел.), исходя из суточных норм потребления воды людьми (табл. 4, табл. 5, где в числителе приведена норма потребления воды при активных действиях человека, в знаменателе – в режиме повседневной деятельности).

Минимальная норма водопотребления обеспечивает деятельность людей в течение 5–7 сут. В исключительной ситуации (не более 3 сут) допускается выдача воды только для питьевых целей (приготовление чая и создание запаса воды во флягах) в объеме 3,5 и 6 л/чел.

В сооружениях для пунктов управления и в убежищах для обеспечения водой могут использоваться индивидуальные, групповые, табельные и штатные средства.

Нормы потребления воды для сооружений принимают следующие:

– на хозяйственно-питьевые нужды на чел./сут: при круглосуточном пребывании людей и приготовлении пищи из консервированных продуктов – 37 л, из сырых продуктов (до 50 %) – 60 л;

– на гигиенические нужды на человека в сутки – 25 л;

– на медицинские нужды, при численности: не более 125 чел. – 40 л; от 126 до 250 чел. – 80 л; от 251 до 550 чел. – 90 л; от 551 до 2 000 чел. – 95 л;

– на работу санитарного пропускника (70–80 л/чел.): для обработки людей – 65 л/чел.; для приготовления дезраствора – 5 л/чел.

Для технических нужд нормы потребления воды принимаются следующие:

– для воздухоохладителей и кондиционеров – 1,1–1,8 л на кг воздуха;

– для охлаждения компрессоров: 250–350 л на 1 м³ сжатого воздуха, дизель-электрического агрегата – 20–30 л на 1 л.с. или 0,03–0,04 м³ на 1 кВт.

Таблица 4. Суточные нормы потребления воды (на 1 чел.), л

Вид потребления воды	При умеренной погоде	В жаркую погоду
На хозяйственно-питьевые нужды		
Приготовление чая и запас воды во флягах	3	4
Приготовление пищи	3	3,5
Выпечка хлеба	1	1
Мытье кухонного инвентаря	2	2,5
Мытье индивидуальной посуды	1	2
Умывание и мытье рук	5	7
Ежедневное обтирание	5	10
Итого	20	30
На санитарно-бытовые нужды		
Помывка людей	10	14
Стирка белья (обмундирования) (2 кг)	20	20
Медицинские нужды	4	6
Уборка и санитарная обработка жилых помещений и мест общего пользования	6	10
Итого	40	50

Таблица 5. Минимальные нормы потребления воды (на 1 чел.), л/сут

Назначение воды	При температуре воздуха, °С	
	Ниже +25	Выше +25
Приготовление чая и создание запаса воды во флягах	3,5/2,5	6/4,5
Умывание	1	1
Приготовление пищи и мытье посуды	2	2
Всего:	6,5/5,5	9/7,5

Потребность в воде сооружений может быть рассчитана по следующим зависимостям: на хозяйственно-питьевые нужды, м³/сут:

$$Q_{x-n} = q_{x-n} N_{лс} 10^{-3},$$

где q_{x-n} – норма потребления воды на чел. в сутки, л; $N_{лс}$ – численность людей, чел.;
на гигиенические нужды, м³/сут:

$$Q_2 = q_2 N_{лс} 10^{-3},$$

где q_2 – норма потребления воды на человека в сутки, л;
на работу санпропускника, м³/сут:

$$Q_{cn} = 0,1(q_{cn}^{z\partial} + q_{cn}^{\partial p}) N_{лс} 10^{-3} + (q_{cn}^{on} + q_{cn}^{\partial ron}) S_{on} n_{on} 10^{-3},$$

где $q_{cn}^{z\partial}$ – норма потребления воды на гигиенический душ, л/чел.; $q_{cn}^{\partial p}$ – норма расхода воды на приготовление дезраствора, л/чел.; q_{cn}^{on} – норма расхода на обмыв поверхностей санпропускника, л; $q_{cn}^{\partial ron}$ – норма расхода на приготовление раствора для обмыва поверхностей, л; S_{on} – площадь обмываемых поверхностей санпропускника, м²; n_{on} – количество обмывок в сутки;

на медицинские нужды, м³/сут:

$$Q_M = q_M N_{\text{штк}} 10^{-3},$$

где q_M – норма расхода воды для конкретной численности людей на одну штатную койку, л/сут;
 $N_{\text{штк}}$ – количество штатных коек в медпункте, шт.;

на технические нужды:

– на работу кондиционера, м³/ч,

$$Q_{\text{кд}} = q_{\text{кд}} Q_{\text{возд}} 10^{-3},$$

где $q_{\text{кд}}$ – расчетный расход воды, л; $Q_{\text{возд}}$ – производительность кондиционера по воздуху, м³/ч;
 – на работу дизель-электрической станции (ДЭС), м³/ч:

$$Q_{\text{дэс}} = q_{\text{дэс}} N_{\text{дэс}} n_{\text{дэс}} 10^{-3},$$

где $q_{\text{дэс}}$ – расчетный расход воды на охлаждение дизель-электрической станции, м³/ч;
 $n_{\text{дэс}}$ – количество одновременно работающих дизель-электрических агрегатов, шт.;
 $N_{\text{дэс}}$ – мощность дизель-электрического агрегата, Вт.

Запасы воды в сооружениях определяют, исходя из потребности в ней на различные нужды и срока автономности:

на хозяйственно-питьевые:

– при отсутствии защищенного водозабора, м³:

$$W_{x-n} = Q_{x-n} T,$$

где T – период автономности, сут;

– при наличии, м³:

$$W_{x-n} = (1..2) \frac{Q_{x-n}}{24};$$

на гигиенические нужды:

– при отсутствии защищенного водозабора, м³:

$$W_2 = Q_2 T;$$

– при наличии, м³:

$$W_2 = (1..2) \frac{Q_2}{24};$$

на медицинские нужды:

– при отсутствии защищенного водозабора, м³:

$$W_M = Q_M T;$$

– при наличии, м³:

$$W_M = (1..2) \frac{Q_M}{24};$$

на технические нужды:

– для работы кондиционера, м³:

$$W_{к\delta} = (1...2)Q_{к\delta};$$

– для работы дизель-электрической станции, м³:

$$W_{дЭС} = (0,5...1)Q_{дЭС}.$$

На основании рассчитанных запасов воды по назначению определяются суммарные объемы резервуаров для создания запаса воды:

– для хозяйственно-питьевой воды, м³:

$$W_{хпв}^p = W_{х-п} + W_z + W_{сн} + W_m;$$

– для технической, м³:

$$W_{тв}^p = W_{к\delta} + W_n;$$

– для дизель-электрической станции, м³:

$$W_{дЭС}^p = W_{дЭС}.$$

Водоснабжение автономного полевого лагеря может быть организовано присоединением его к централизованной системе водоснабжения, при отсутствии такой возможности – от источников грунтовых вод, шахтных колодцев, водозаборных скважин, родников и других источников.

Для доступа к грунтовым водам могут использоваться установки для добычи грунтовых вод, передвижные буровые, установки разведывательного бурения. Подача воды из источников может осуществляться погружными насосами, мотопомпами, электронасосами, насосными установками.

При снабжении водой из открытых источников для очистки воды можно использовать войсковые фильтровальные и другие станции приготовления воды. Для опреснения воды следует использовать передвижные опреснительные установки.

Для оценки выполнения задачи по оборудованию и содержанию пунктов водоснабжения необходимо:

– оценить имеющееся время на оборудование и содержание пунктов водоснабжения в сутки с учетом характера действий (ч/сут);

– оценить район по степени водообеспеченности местности (на площади 100 км²).

Основными показателями являются:

а) протяженность береговой линии поверхностных источников воды (рек, озер, водохранилищ, прудов), км;

б) суммарный дебит существующих источников воды (скважин, колодцев, родников, водопроводов);

в) плотность распространения подземных вод по глубине залегания, км²;

– обосновать коэффициенты, учитывающие условия выполнения задачи, с учетом характера действий;

– определить производительность пункта водоснабжения:

а) на средствах очистки, опреснения и подъема воды, м³/сут, с учетом коэффициента условий (войсковая фильтровальная станция, автофильтровальная станция, станция опреснения воды, погружной насос) и производительности средств;

б) на средствах добычи воды (передвижные буровые установки, установки для добычи грунтовых вод, механизированный шнековый колодец, мелкий трубчатый колодец) (при оборудовании временных скважин), м³/ч, с определением типа водосодержащей породы и мощности водоносного горизонта, м;

– определить требуемое количество подразделений полевого водоснабжения;

– определить требуемое количество реагентов и сорбентов, кг, с учетом норм расхода реагентов и сорбентов средствами полевого водоснабжения *i*-го типа, кг/м³, для чего может быть использована формула:

$$M = \sum_{i=1}^n M_i \cdot Q_{ni}, \text{ кг,}$$

где M_i – норма расхода реагентов и сорбентов средствами полевого водоснабжения *i*-го типа, кг/м³; Q_{ni} – требуемое количество очищенной воды, м³.

К средствам очистки и опреснения воды относятся нейтральный гипохлорит кальция, серноокислый алюминий, активированный уголь, кальцинированная сода и др.;

– определить нормы расхода материалов при бурении (из расчета на 100 м бурения) с учетом вида оборудуемой скважины, при этом скважины могут быть постоянными и временными. Наименование материалов определяется для конкретного типа средства добычи воды;

– определить время оборудования пункта водоснабжения с учетом типа выбранного средства полевого водоснабжения, условий выполнения задачи и времени года (лето, зима).

При этом основными мероприятиями являются: доразведка района; развертывание средства; установка шлагбаума; обозначение подъездного пути; оценка времени на непосредственно оборудование пункта водоснабжения;

– определить структуру пункта водоснабжения или состав элементов его рабочей площадки с учетом типа средства полевого водоснабжения, характера заражения и температуры (град.) исходной воды для конкретной обстановки и времени года.

На данном этапе определяется требуемое количество резервуаров-отстойников, резервуаров для чистой воды и количество насосов выдачи воды;

– определить объем работ по фортификационному оборудованию пункта полевого водоснабжения (при необходимости) для каждого конкретного средства полевого водоснабжения.

Преимуществами электроводонагрева и электроотопления являются снижение расходов на транспортировку топлива и отсутствие необходимости в складах.

Температура воздуха в сооружениях должна быть не ниже +5 ... +7 °С, а для обогрева их могут использоваться печи промышленного изготовления, рассчитанные на сжигание твердого топлива, твердого и жидкого. Но возможно и использование для обогрева электрической энергии.

Таким образом, систему электроотопления сооружений можно разделить на два варианта исполнения: полного и частичного; при полном все количество тепла поступает от электроприборов, устанавливаемых в каждом помещении, при частичном – основное потребление тепла идет от печного отопления, а недостаток его пополняется электроприборами.

Выбор системы может быть сделан на основе сравнения различных вариантов с учетом местных условий и мероприятий, требуемых для подготовки печного отопления. Решающим является наличие свободной мощности источников электрической энергии.

При расчете отопительных приборов необходимо определить требуемое количество тепла и перевести в эквивалентную теплу работу электрического тока с учетом коэффициента полезного действия прибора (1 кВтч эквивалентен количеству тепла в 860 ккал).

Потребная мощность (кВт) приборов отопления для компенсации тепловых потерь Q (ккал/ч) определяется по формуле: $N = Q/860$. Потребность в электрической энергии для обогрева сооружений определена (табл. 6). Для поддержания достигнутой температуры потребуется мощность в 60–80 % от приведенных значений.

Таблица 6. Потребность в электрической энергии для обогрева сооружений, Вт/м³

Требуется мощность для обогрева при разности температур в °С	Небольших и защищенных от ветра	Больших и не защищенных от ветра
от 15 до 25	40	60
25 до 35	60	80
35 до 40	70	100

Для всех видов нагревательных электроприемников $P_{ном} = P_p$, где P_p – паспортная мощность. В сооружениях для размещения людей удельный расход тепла на отопление 1 м² общей площади при $t = -40$ °С – 38,2 ккал/ч; при $t = -45$ °С – 40,1 ккал/ч.

Варианты применения отопительных приборов:

– отражательные печи мощностью 0,5–1,5 кВт рекомендуется использовать для обогрева небольшого количества людей и первоначального обогрева сооружений, требующих большого количества тепла (20–50 чел.);

– приборы большой теплоемкости рекомендуется применять, когда подача электроэнергии ограничена.

Калориферные системы отопления наиболее пригодны для сооружений, имеющих систему вентиляции. Их использование рационально при наличии источников электрической энергии ограниченной мощности, загруженных в дневное время, но не полностью используемых ночью.

Выбор мощности источника электрической энергии осуществляется по расчетной мощности объекта при соблюдении условий:

– для бензиновых:

$$P_{н.изэ} \geq P_{нагр} \text{ при } T_{нагр} > 1 \text{ ч, } P_{н.изэ} \geq 0,9 P_{нагр} \text{ при } T_{нагр} \leq 1 \text{ ч;}$$

– для дизельных:

$$P_{н.изэ} \geq P_{нагр.макс.}; K_{мин} P_{н.изэ} \geq P_{нагр.мин.},$$

где $P_{н.изэ}$ – мощность источника электрической энергии, кВт; $T_{нагр}$ – время нагрузки; $K_{мин}$ – коэффициент, зависящий от типа двигателя.

В основу оценки работы системы электроснабжения может быть положена вероятность безотказной работы источника электрической энергии в течение времени функционирования объекта и заданных условиях применения.

Выбор рациональной системы электроснабжения осуществляется на основе значений вероятности безотказной работы и коэффициента технической готовности и в качестве показателя эффективности может рассматриваться объем выполняемых задач электроснабжения, достигаемый объектом при заданной безотказности на единицу суммарных затрат:

$$E = \frac{P}{\left(1 + \frac{K_2}{K_o}\right) * \left(1 + \frac{M_2}{M_o}\right) * \left(1 + \frac{T_2}{T_o}\right)},$$

где P – вероятность безотказной работы системы электроснабжения; K_2 – стоимость электрооборудования объекта; K_o – стоимость объекта; M_2 – масса электрооборудования, кг; M_o – грузоподъемность транспортного средства источника электрической энергии, кг; T_2 – трудозатраты на техническое обслуживание электрооборудования; T_o – трудозатраты на обслуживание объекта.

Поток выхода из строя источников электрической энергии может быть определен по формуле:

$$\lambda = n(t)/Nt \text{ и } \lambda_{\text{БП}} = n_{\text{БП}}(t)/Nt,$$

где $n(t)$ – количество источников электрической энергии, вышедших из строя в ремонт за время t ; $n_{\text{БП}}(t)$ – количество источников электрической энергии, вышедших в безвозвратные потери за время t ; N – начальное количество источников электрической энергии.

Поток ремонта может быть определен через суммарную трудоемкость ремонта вышедших из строя средств (вместо количества источников электрической энергии):

$$\lambda = K_{\text{п}} t_{\text{р}}(t) / 200 N_o t \text{ – для дизельных;}$$

$$\lambda = K_{\text{п}} t_{\text{р}}(t) / 100 N_o t \text{ – для бензиновых;}$$

где $t_{\text{р}}(t)$ – суммарная трудоемкость ремонта за время t ; N_o – исходное количество источников электрической энергии; $K_{\text{п}}$ – коэффициент потерь, учитывающий возможности ремонтных органов.

Для выполнения задач тылового обеспечения автономного полевого лагеря может потребоваться определить количество:

– полевых кухонь:

$$K = \Pi / B,$$

где Π – количество людей на обеспечении, чел.; B – возможности кухни по обеспечению горячей пищей, обеды;

– автомобилей под продовольствие:

$$A = m \Pi N / K_{\text{И}} \Gamma,$$

где m – масса одной суточной дачи продовольствия по норме, т (0,0025); N – установленная норма возимого запаса продовольствия, с/д; $K_{\text{И}}$ – коэффициент использования грузоподъемности автомобиля – 0,83 (средний); Γ – нормативная грузоподъемность автомобиля данной марки, т;

– автомобилей для подвоза воды:

$$A = H \Pi N / \Gamma,$$

где A – количество автоцистерн, ед; H – суточная потребность воды, на чел., т.

Заключение

Заблаговременное определение потребностей в электрической энергии для приготовления пищи и нагрева воды, воде и тепле для решения задач жизнеобеспечения людей в автономном полевом лагере с использованием приведенных основных математических выражений, обоснование и накопление запасов необходимых материальных средств позволит рационально организовать жизнеобеспечение автономного полевого лагеря, и на основе известных потребителей обосновать его систему электроснабжения. Это также позволит разрешить противоречие между необходимостью организации электроснабжения жизнеобеспечения людей в автономном полевом лагере и отсутствием обоснованных норм электропотребления объектов жизнеобеспечения.

Список источников

1. Седнев В.А., Седнев Ан.В. Научно-методический подход обоснования состава источников электрической энергии для электроснабжения жизнеобеспечения автономного полевого лагеря // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2021. № 5. С. 95–120.
2. Седнев В.А., Седнев Ан.В. Особенности расчета освещения полевого пункта временного размещения пострадавшего населения и спасательных формирований // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2021. № 6. С. 53–63.
3. Седнев В.А., Седнев Ал.В. Моделирование организации работ по оборудованию сборного пункта поврежденных машин // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 110–118.
4. Седнев В.А., Седнев Ан.В. Алгоритм организации и обеспечения безопасности проведения пиротехнических работ при разминировании территории памятника фортификационного искусства // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2021. № 2. С. 35–58.
5. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Системные исследования чрезвычайных ситуаций / под ред. Н.А. Махутова. М.: МГОФ «Знание», 2015. 864 с.
6. Исследование операций: учеб. / Л.А. Егоров [и др.]; под ред. Б.Н. Юркова. М.: Военно-инженерная академия, 1990. 529 с.
7. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле. М.: Воениздат, 1970. 256 с.
8. Егоров Л.А. Статистическое моделирование процессов выполнения военно-инженерных задач. М.: ВИУ, 2000.
9. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Суцев С.П. Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология: в 3-х т. Т. 1: Аварийный риск. Взрывные и ударные воздействия. М.: Наука, 2005. 696 с.
10. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Суцев С.П. Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология: в 3-х т. Т. 2: Законы поражения. Прочность и динамика сооружений. М.: Изд-во АСВ, 2008. 640 с.
11. Безопасность России. Безопасность и защищенность критически важных объектов. Ч. 1: Научные основы безопасности и защищенности критически важных для национальной безопасности объектов / Н.А. Махутов [и др.]. М.: МГОФ «Знание», 2012. 896 с.
12. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах / Б.Е. Гельфанд [и др.]. М.: ГУП «НТИЦ «Промышленная безопасность» Госгортехнадзора России, 2001. 224 с.
13. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд. М.: Наука, 1988. 208 с.

References

1. Sednev V.A., Sednev An.V. Nauchno-metodicheskiy podhod obosnovaniya sostava istochnikov elektricheskoy energii dlya elektroobezpecheniya zhizneobespecheniya avtonomnogo polevogo lagerya // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. 2021. № 5. S. 95–120.
2. Sednev V.A., Sednev An.V. Osobennosti rascheta osveshcheniya polevogo punkta vremennogo razmeshcheniya postradavshogo naseleniya i spasatel'nyh formirovaniy // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. 2021. № 6. C. 53–63.
3. Sednev V.A., Sednev Al.V. Modelirovanie organizacii rabot po oborudovaniyu sbornogo punkta povrezhdennyh mashin // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 3. S. 110–118.
4. Sednev V.A., Sednev An.V. Algoritm organizacii i obespecheniya bezopasnosti provedeniya pirotekhnicheskikh rabot pri razminirovanii territorii pamyatnika fortifikacionnogo iskusstva // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. 2021. № 2. C. 35–58.
5. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, social'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty. Sistemnye issledovaniya chrezvychajnyh situacij / pod red. N.A. Mahutova. M.: MGOF «Znanie», 2015. 864 s.
6. Issledovanie operacij: ucheb. / L.A. Egorov [i dr.]; pod red. B.N. Yurkova. M.: Voenno-inzhenernaya akademiya, 1990. 529 s.
7. Chuev Yu.V. Issledovanie operacij v voennom dele. M.: Voenizdat, 1970. 256 s.
8. Egorov L.A. Statisticheskoe modelirovanie processov vypolneniya voenno-inzhenernyh zadach. M.: VIU, 2000.
9. Kotlyarevskij V.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. Enciklopediya bezopasnosti: stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya: v 3-h t. T. 1: Avarijnyj risk. Vzryvnye i udarnye vozdejstviya. M.: Nauka, 2005. 696 s.
10. Kotlyarevskij V.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. Enciklopediya bezopasnosti: stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya: v 3-h t. T. 2: Zakony porazheniya. Prochnost' i dinamika sooruzhenij. M.: Izd-vo ASV, 2008. 640 s.
11. Bezopasnost' Rossii. Bezopasnost' i zashchishchennost' kriticheski vazhnyh ob"ektov. Ch. 1: Nauchnye osnovy bezopasnosti i zashchishchennosti kriticheski vazhnyh dlya nacional'noj bezopasnosti ob"ektov / N.A. Mahutov [i dr.]. M.: MGOF «Znanie», 2012. 896 s.
12. Metodiki ocenki posledstvij avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob"ektah / B.E Gel'fand [i dr.]. M.: GUP «NTC «Promyshlennaya bezopasnost'» Gosgortekhnadzora Rossii, 2001. 224 s.
13. Ventcel' E.S. Issledovanie operacij: zadachi, principy, metodologiya. 2-e izd. M.: Nauka, 1988. 208 s.

Сведения об авторах:

Седнев Владимир Анатольевич, профессор кафедры гражданской обороны, защиты населения и территорий Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, почетный работник науки и техники Российской Федерации, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области образования, e-mail: sednev70@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4922-430X>

Седнев Анатолий Владимирович, студент Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета) (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), e-mail: stolya2000@mail.ru

Information about authors:

Sednev Vladimir A., professor of the department of population and territory protection of the Academy of the State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkin st., 4), doctor of technical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, honored worker of science and technology of the Russian Federation, laureate of the prize of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology, laureate of the prize of the Government of the Russian Federation in the field of education, e-mail: sednev70@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4922-430X>

Sednev Anatoly V., student of the Moscow state technical university them. N.E. Bauman (national research university) (105005, Moscow, 2nd Baumanskaya st., 5), e-mail: stolya2000@mail.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 11.10.2022; одобрена после рецензирования: 24.10.2022; принята к публикации: 25.10.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 11.10.2022; approved after review: 24.10.2022; accepted for publication: 25.10.2022

Научная статья
УДК 502.504; 628.54

НЕЧЕТКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОПАСНОГО СОСТОЯНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ТЕХНОСФЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ И ТЕРРИТОРИЙ

✉ Цховребов Эдуард Станиславович.

Академия инженерных наук им. А.М. Прохорова, Москва, Россия.

Слесарев Михаил Юрьевич.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

✉ rebrovstanislav@rambler.ru

Аннотация. Увеличивающееся ежегодно количество образующихся и захораниваемых твердых коммунальных, производственных и строительных отходов приводит к всевозрастающей техносферной нагрузке на окружающую среду, представляя собой одну из главных угроз экологической безопасности для техносферных территорий городских округов и регионов. Означенные тенденции ведут к увеличению рисков техносферной опасности в процессах жизнедеятельности. Основопологающим вектором исследования определено формирование научных подходов, методов, показателей достижения состояния защищенности природной среды от техногенного воздействия отходов, обеспечивая при этом благоприятные для человека условия существования в техносфере в виде преобразованной социумом части биосферы. Цель исследования – разработка нечеткой шкалы показателей оценки систем, объектов, технологий жизнеобеспечения техносферных территорий на стадии разработки предпроектной и проектной документации. В соответствии с поставленной целью в рамках использования теории нечетких множеств и соответствующего математического аппарата мягких вычислений осуществлена разработка нечеткой шкалы уровней ресурсно-экологических показателей для реализации прогнозных исследований перспективного развития систем жизнеобеспечения населенных пунктов на предпроектной стадии в процессе осуществления проектной деятельности при оценке сложившегося уровня техносферного воздействия опасных отходов на окружающую среду. Предложенный новый подход, основанный на комплексной оценке предотвращенной экологической опасности, был использован при формировании прогноза развития предприятий по обработке, утилизации отходов на период до 2030 г. по регионам России. Представляется возможным применение разработанных индикаторов экологической безопасности техносферных территорий и методов их определения при создании укрупненных показателей техносферной безопасности объектов и комплексов, прогнозировании рисков в техносфере.

Ключевые слова: обращение с отходами, техносферные риски, нечеткая шкала оценок, экологическая безопасность, потенциально опасные объекты

Для цитирования: Цховребов Э.С., Слесарев М.Ю. Нечеткие показатели безопасного состояния потенциально опасных техносферных объектов и территорий // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 93–103.

FUZZY INDICATORS OF THE SAFE CONDITION OF POTENTIALLY DANGEROUS TECHNOSPHERE OBJECTS AND TERRITORIES

✉ Tskhovrebov Eduard S.

Academy of engineering sciences named after A.M. Prokhorov, Moscow, Russia.

Slesarev Mikhail Yu.

National research Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia

✉ rebrovstanislav@rambler.ru

Abstract. The increasing amount of solid municipal, industrial and construction waste generated and buried annually leads to an ever-increasing technosphere load on the environment, representing one of the main threats to environmental safety for technosphere territories of urban districts and regions. These trends lead to an increase in the risks of technosphere danger in the processes of vital activity. The fundamental vector of the research is the formation of scientific approaches, methods, indicators of achieving the state of protection of the natural environment from the anthropogenic impact of waste, while providing favorable conditions for human existence in the technosphere in the form of a part of the biosphere transformed by society. The purpose of the study is to develop a fuzzy scale of indicators for assessing systems, facilities, life support technologies of technosphere territories at the stage of development of pre-project and project documentation. In accordance with this goal, within the framework of using the theory of fuzzy sets and the corresponding mathematical apparatus of soft computing, a fuzzy scale of levels of resource and environmental indicators was developed for the implementation of predictive studies of the long-term development of life support systems of settlements at the pre-project stage, during the implementation of project activities, when assessing the current level of technosphere impact of hazardous waste on the environment. The proposed new approach, based on a comprehensive assessment of the prevented environmental hazard, was used in the formation of a forecast for the development of waste treatment and disposal enterprises for the period up to 2030 in the regions of Russia. It seems possible to use the developed indicators of environmental safety of technosphere territories and methods of their determination when creating enlarged indicators of technosphere safety of objects and complexes, forecasting risks in the technosphere.

Keywords: waste management, technosphere risks, fuzzy assessment scale, environmental safety, potentially hazardous objects

For citation: Tskhovrebov E.S., Slesarev M.Yu. Fuzzy indicators of the safe condition of potentially dangerous technosphere objects and territories // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 93–103.

Введение

Проблемы использования искусственного интеллекта в исследованиях перспектив развития методов оценки состояний техносферной безопасности территорий, объектов, процессов, материалов в настоящее время являются чрезвычайно актуальными и значимыми в свете поступательно реализуемого курса нашей страны на достижение устойчивого социально-экономического, экологического и технологического развития [1–4].

В работе обозначенные актуальные проблемы рассмотрены в новом формате создания нечеткой шкалы показателей интегральной оценки уровня экологической безопасности жизнеобеспечения городских округов, регионов на базе теории нечетких множеств, увязывающих в единой системе оценки количественные и качественные ресурсно-экологические показатели с учетом обратной реакции природной среды на антропогенное воздействие отходов.

Концепция, направления, методы исследования коррелируются с принятыми в мировом сообществе принципами: «Zero waste» (ноль отходов), «RRR» (предотвращение образования отходов, повторное использование, переработка во вторичные ресурсы), «Green economy» («Зеленая» экономика), «Circular economy» (экономика замкнутого цикла) [5–9], опираются на достигнутые результаты исследований в области программ и проектов развития «зеленого» строительства, обеспечения экологической безопасности [10–14].

Методы исследования базируются на использовании системного анализа, теории нечетких множеств, реализующих возможности применения мягких вычислений при расчетах уровней экологической безопасности техносферных территорий, позволяя оценивать состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от опасных воздействий отходов.

Результаты исследования и обсуждение

По замыслу авторов исследования, полученные показатели на основе применения теории нечетких множеств и мягких вычислений призваны обеспечить всестороннюю обоснованную многофакторную оценку состояния экологической безопасности в отношении воздействия завершивших свой срок эксплуатации строительных материалов и конструкций, использованной продукции в процессе жизнеобеспечения. Возможности применения мягких показателей охватывают стадии бизнес-планирования, оценки воздействия на окружающую среду, разработки технико-экономического обоснования, экологических проектов, территориальных схем обращения с отходами, программ развития в рамках комплексной системы оценки уровня экологической безопасности городов и регионов [15].

Основным отличием предлагаемой нечеткой шкалы показателей оценки уровня экологической безопасности от известных сложившихся подходов является целенаправленность на формирование индикаторов оценки предотвращенного экологического вреда (риска) за счет трансформации ресурсной составляющей отходов в безопасное вторсырье с учетом факторов опасности прямого воздействия, обратной реакции экосистем, периодов их самовосстановления после устранения источника опасности, объединение в составном критерии ресурсосберегающих и природоохранных показателей.

Критерий экологической безопасности системы, объектов жизнеобеспечения территорий Q_{ji} определяется уровнем снижения степени экологической опасности в результате реализации технологических процессов трансформации опасных отходов в категорию вторичного сырья и выражается как сумма произведений показателей P_{ji} , определяемым в физических единицах массы и весовых коэффициентов снижения экологической опасности k_{ij} конкретного отхода после его преобразования во вторичное сырье:

$$Q_{ji} = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^w P_{ji} k_{ij};$$

$$P_{ji} = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^w (C_j / O_i),$$

где P_{ji} – доля вторичного сырья, полученного из ресурсной составляющей $i=1 \dots r$; O_i – количество образующихся опасных отходов $i=1 \dots w$ видов; C_j – количество вторсырья $j=1 \dots r$ видов, полученного из отходов; k_{ij} – показатель изменения экологической опасности отхода при регулирующем воздействии, определяемый как соотношение уровней экологической опасности антропогенных объектов множеств O и C до и после технологических преобразований: $k_{ij}=k_i/k_j$. Величина C_j выражает уровень использования в производимой продукции и работах ресурсов $i=1 \dots w$ отходов в качестве вторсырья $j=1 \dots r$ видов на единицу образования отходов.

Показатель k_{ij} представлен в формуле (1) произведением трех критериев, определяющих конечную цель моделируемой системы экологически безопасного жизнеобеспечения:

- а) минимизация опасности образуемого антропогенного объекта до малоопасного/практически неопасного уровня в источнике образования;
- б) предотвращение попадания в природную среду, нанесения экологического вреда;
- в) предупреждение нарушения, порчи экосистем при воздействии на них отходов в качестве источников опасности.

$$k_{ij} = k_{o_{ij}} k_{\nu_{ij}} k_{e_{ij}}. \quad (1)$$

Схема формирования предлагаемых весовых коэффициентов, характеризующих экологическую опасность отходов, приведена в табл. 1.

Таблица 1. Схема предлагаемых весовых коэффициентов, характеризующих экологическую опасность ресурсных составляющих отходов

Показатель	Коэффициент экоопасности антропогенного объекта $k_{o_{ij}}$	Коэффициент опасности прямого временного воздействия $k_{\nu_{ij}}$	Коэффициент опасности обратной реакции экосистем $k_{e_{ij}}$
Методическая основа	Класс опасности отходов производства и потребления	Сроки естественного разложения источника опасности в природной среде	Состояние, период восстановления экосистем после устранения воздействия источника опасности
Оцениваемый показатель	Уровень опасности для окружающей среды	Длительность временного воздействия	Длительность восстановления экологических систем
Качественная характеристика базового исходного показателя	Чрезвычайно, высоко-, умеренно, малоопасные, практически неопасные	Распределение по группам: 1. Цветмет; стекло; синтетические полимеры. 2. Черные металлы; минеральные. 3. Древесные; текстиль; макулатура	Необратимо нарушена, сильно нарушена, нарушена, незначительно нарушена, практически не нарушена
Соответствующее численное значение	1, 2, 3, 4, 5 по убыванию опасности	Ранжирование по периодам: [100; 1000]; [10; 100]; [1; 10]	30; 10; 3; 1. Максимальный период восстановления принят от 100 лет
Формализация показателя в виде весового коэффициента	Обратная величина числа класса опасности отхода: {1/1; 1/2; 1/3; 1/4; 1/5}	Соотношение шкалы границ периодов разложения при принятии максимальной за единицу {1; 0,1; 0,01}	Соотношение сроков восстановления экосистем при принятии за единицу наибольшего {1; 0,3; 0,1; 0,03; 0,01}
Математический смысл	Пороговое возрастание весового коэффициента, определяющего весомость предотвращения образования отходов более высокого класса экологической опасности	Пороговое возрастание весового коэффициента, характеризующего весомость предотвращения размещения отходов с более высокими сроками естественного разложения	Пороговое возрастание весового коэффициента, определяющего весомость предотвращения загрязнения природной среды теми отходами, негативное воздействие которых приводит к большим срокам восстановления экосистем
Экологический смысл	Оценка значимости снижения уровня экологической опасности более опасного антропогенного объекта	Оценка временного воздействия отходов на окружающую среду с учетом сроков естественного разложения	Оценка обратной связи экологической системы на нахождение источника экологической опасности в природной среде в виде ответной реакции

Показатель	Коэффициент экоопасности антропогенного объекта ko_{ij}	Коэффициент опасности прямого временного воздействия kv_{ij}	Коэффициент опасности обратной реакции экосистем ke_{ij}
Научно-практическое значение	Придание приоритетности мерам предупреждения образования и снижению уровня экоопасности завершившей срок эксплуатации продукции в источнике появления	Придание значимости мерам предотвращения попадания в природную среду отходов с более высокими сроками разложения (пылеунос, смыв, захоронение)	Придание значимости предотвращению попадания в природную среду отходов, последствия воздействия которых обусловлены более значительными сроками восстановления экосистем после устранения источника

Как следует из таблицы, основными критериями формирования коэффициентов служит восстанавливаемость экосистем, степень нарушения, уровень опасности, длительность нахождения в ней опасных отходов, напрямую влияющие на реанимационные процессы восстановления природных объектов. Оперативный прогноз состояния защищенности природной среды от воздействия антропогенных объектов предлагается осуществлять на основе применения методов математической логики с помощью оценки групп экологических состояний: безопасное, опасное, катастрофическое в соответствии с разработанными выше индикаторами. Подобный подход применялся Т.Г. Середой и С.Н. Костаревым при оценке безопасности аппаратов [16].

Для формирования комплексной оценки состояний экологической опасности территории составляются конъюнкции всех переменных показателей (ke , ko , kv), при которых функция отклика \mathcal{E} равна 1, безопасных – нулю в рамках дизъюнкции рассматриваемых условий. Вышеуказанные факторы служат индикаторами для построения формы выражения логических функций экологической опасности (ЭО) и экологической катастрофы (ЭК), а также совершенной конъюнктивной нормальной формы, отражающей логическую функцию состояния экологической безопасности (ЭБ) территории, объекта в отношении воздействия отходов:

$$\mathcal{E}(\text{ЭБ}, \text{ЭО}, \text{ЭК}) = F(ko, kv, ke).$$

Сделано допущение, что необходимым условием (показателем) состояния экологической катастрофы территории является необратимость последствий нарушения экологической системы, невозможность или длительный (от 100 лет) период ее искусственного восстановления при размещении в природной среде чрезвычайно и высоко опасных отходов и/или со сроками разложения более 100 лет – в качестве достаточных условий: $\text{ЭК} = 1$, если $ke = 1$, $ko \vee kv = 1$.

Экологически безопасное состояние определено в случаях:

а) экосистема нарушена незначительно или практически не нарушена и имеет способность к самовосстановлению в периоде до трех лет при локальных кратковременных воздействиях;

б) уровень экоопасности антропогенных объектов, не обладающих состоянием опасных отходов, практически не опасный;

в) срок естественного разложения не утилизируемых, размещенных в виде биорекультиванта обработанных вторичных ресурсов (ВР), составляет не более трех лет, в отдельных случаях, при применении в качестве технического рекультиванта – до 10 лет: $\text{ЭБ} = 1$, если $ke = 0$, $ko = 0$, $kv = 0$.

Необходимым условием экоопасного состояния служит нарушение экосистемы, повлекшее за собой невозможность самовосстановления и, соответственно, необходимость искусственного восстановления экосистемы после устранения воздействия источника опасности периодом от 10 лет и более, а достаточными условиями – размещение в природной среде умеренно опасных, малоопасных отходов и/или со сроками естественного разложения от 10 до 100 лет. Данные условия определены логическим выражением:

$$\text{ЭО} = 1, \text{ если } \begin{cases} \underline{ke} = 0, \underline{ko} \vee \underline{ke} = 1, \\ \underline{ke} = 1, \underline{ko} = 0, \underline{ke} = 0. \end{cases}$$

С учетом изложенного, построена таблица оценки состояний (табл. 2).

Таблица 2. Нечеткая оценка состояний территории муниципальных образований

Приведенный срок восстановления нарушенных экосистем, ke	Приведенная экоопасность источника воздействия, ko	Приведенный срок нахождения в природной среде, kv	Экологически безопасное состояние	Экологически опасное состояние	Состояние экологической катастрофы
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0
1	0	0	0	1	0
1	0	1	0	0	1
1	1	0	0	0	1
1	1	1	0	0	1

Установление ресурсного показателя P_{ji} основывается на принципе предотвращения образования опасных отходов в количественном выражении. Он определяется уровнем повторного использования ресурсной части использованной продукции, овеществленной в процессе производства товаров, работ, энергии. Ресурсовосстановительный смысл показателя заключается в максимизации уровня применения ресурсного потенциала в виде вторсырья (в качестве альтернативы природным ресурсам) на единицу образования отхода.

Необходимость создания ресурсных критериев экологически безопасного функционирования динамичных производственных процессов обусловлена тем, что существующие методы оценки ресурсов применимы, в основном, к процессам заводского выпуска продукции. По мнению авторов, эти индикаторы по содержанию не могут обоснованно дать эколого-ресурсную оценку нестационарных, динамичных объектов строительства, демонтажа, ремонта, содержания. Это обуславливает разработку новых методических подходов к формированию системы ресурсных показателей (табл. 3).

Таблица 3. Шкала нечетких индикаторов использования ресурсов

Нечеткий показатель. Обозначение, наименование, описание и целевое назначение показателя	Стадия и условия оценки	Выражение единицы измерения
Ресурсная пригодность Pc . Количество (масса) извлеченных, отдельно собранных, изолированных от взаимодействия с компонентами природной среды и между собой ресурсных составляющих с сохраненными (пригодными) характеристиками и свойствами, позволяющими использование в виде возобновляемых ВМР и ВЭР	Раздельный сбор и накопление (при условии наличия технической возможности, допустимости, целесообразности повторного применения)	Уровень выделения ресурсной части, пригодной для обработки в качестве ВМР и ВЭР на единицу использованной продукции
Ресурсная восстанавливаемость Pv . Количество (масса) технологически преобразованных ВМР и ВЭР с нормативными, стандартизованными технико-эксплуатационными характеристиками сырья, обладающего потребительскими свойствами для производства с его применением продукции, работ, энергии	Обработка (при условии восстановления ВР до уровня свойств и характеристик востребованного на потребительском рынке товара)	Уровень восстановления ВР до предъявляемых требований к вторсырью на единицу исходных ВР

Нечеткий показатель. Обозначение, наименование, описание и целевое назначение показателя	Стадия и условия оценки	Выражение единицы измерения
<p>Ресурсная заменимость P_3.</p> <p>Количество (масса) вторичного сырья, используемого в качестве замены (аналога) сырья из природного ресурса и в полном объеме или частично замещающего его в хозяйственном обороте на основании документов по стандартизации, технической документации</p>	<p>Утилизация (при условии, что в результате замены природного сырья вторичным будет получена продукция аналогичного или лучшего качества)</p>	<p>Уровень замены (высвобождения) сырья из природных ресурсов на единицу замещаемого вторсырья</p>

Примечание: ВМР – вторичные материальные ресурсы; ВЭР – вторичные энергетические ресурсы

Модель составного критерия комплексной ресурсно-природоохранной оценки экологически безопасного жизнеобеспечения муниципальных образований в отношении воздействия отходов представлена на рис. 1.

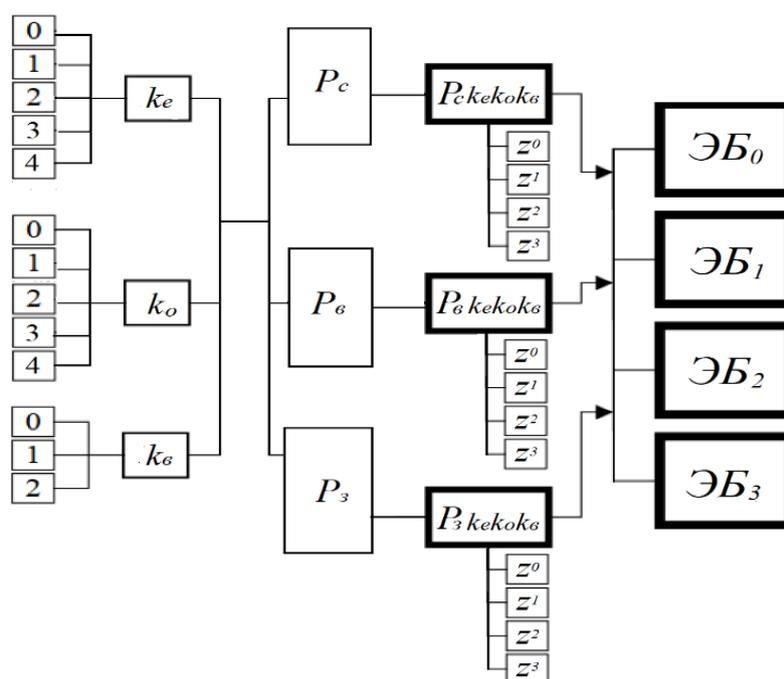


Рис. 1. Шкала составных критериев оценки экоопасности отходов

Каждый из критериев определяется набором характеристик, обусловленных совокупностью параметров или конкретным параметром. Исходное множество альтернатив описывается тремя показателями (P_c , P_e , P_s) и весовыми признаками (k_e , k_o , k_s), имеющими упорядоченные пороговые шкалы дискретных оценок: $X_e = \{0, 1, 2, 3, 4\}$; $X_o = \{0, 1, 2, 3, 4\}$; $X_s = \{0, 1, 2\}$. Множество альтернатив группируются в четыре упорядоченных класса: $\mathcal{E}B_1$, $\mathcal{E}B_2$, $\mathcal{E}B_3$, $\mathcal{E}B_4$ – «Экобезопасность территории» с оценками уровней: 0 – критический, 1 – недопустимый, 2 – нормативный, 3 – комфортный, соответствующие градациям шкалы составного критерия верхнего уровня $Z = \{z^0, z^1, z^2, z^3\}$. Показатели нечеткой шкалы оценки соответствуют четырем составным критериям оценки. Совокупность впервые показателей образует нечеткую шкалу уровня экологической безопасности территорий городов, регионов в целом (рис. 2).



Рис. 2. Шкала уровней экологической безопасности городских округов и регионов на основе нечеткой оценки качественных показателей техносферного воздействия отходов:
 ТКО – твердые коммунальные отходы;
 ПДК – предельно допустимая концентрация

Для количественной интерпретации нечеткой оценки уровня экологической безопасности муниципального образования в части антропогенного воздействия отходов предлагается балльная оценка весомости нечетких показателей с последующим ранжированием пороговых уровней экологической безопасности по сумме присвоенных баллов в результате экспертной оценки, основанной на системном анализе природоохранной ситуации (рис. 3). Факторам, характеризующим «критический» качественный индикатор, присваивается численное значение «минус 0,2», «недопустимый» – «минус 0,04», «нормативный» – «ноль», «комфортный» – «плюс 0,2» с учетом перехода с одного порогового уровня на другой в границах нечеткой шкалы оценок [-1; 1] при введенных обозначениях:

a – нижняя граница критического уровня (-1); b – недопустимого (-0,2); c – нормативного (0); d – комфортного (1).

Нормативный (допустимый) нулевой уровень, по замыслу авторов, означает базовую исходную точку состояния системы жизнеобеспечения для формирования природоподобных технологий среды жизнедеятельности, реализующих переход городских округов и регионов на ресурсосберегающий технологический уклад устойчивого экологически безопасного развития.

Предполагается, что суммарный баланс показателей, определяющий минимальный уровень экобезопасного состояния территории объекта, должен иметь положительное значение, удовлетворительный – превышать величину «0,2», средний – «0,5», высокий – «0,7», наивысший – единицу. В этом случае экологически безопасному качественному уровню будет соответствовать нахождение индикатора состояния территории в интервале нечетких оценок [0; 1] по предлагаемой нечеткой шкале. Расширение состава критериев комфортного

состояния территорий будет напрямую связано с социально-экономическим развитием регионов, инновационных методов, организационно-технических систем, безопасных технологий среды жизнедеятельности.

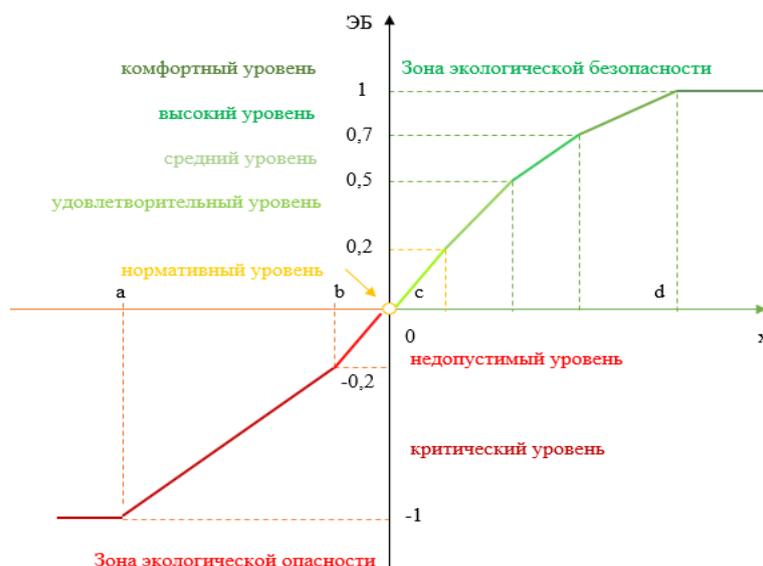


Рис. 3. Графическая интерпретация функции принадлежности оценок показателей экологической безопасности нечеткой балльной шкалы

Выводы

В работе впервые сформирована нечеткая шкала ресурсно-экологических показателей, позволяющая использовать численный аппарат мягких вычислений и отображающая в формализованном виде текущее состояние, условия, потенциал перехода комплекса жизнеобеспечения муниципальных образований и регионов на ресурсосберегающий технологический уклад экологически безопасного функционирования:

а) показатель оценки состояния экологической безопасности процессов жизнеобеспечения, устанавливающий зависимость уровней использования ресурсного потенциала отходов, их ресурсной ценности и предотвращенного антропогенного воздействия, позволяющий проводить системный анализ состояния защиты природной среды от негативного воздействия объектов;

б) показатель оценки экологической безопасности территорий городов и регионов в отношении техносферного воздействия отходов на базе вводимого понятия: нечеткой шкалы уровней, отражающей количественную интерпретацию их весомости с применением балльной оценки.

Научно-прикладная значимость разработанной нечеткой шкалы показателей экологической безопасности жизнеобеспечения подтверждается широким диапазоном возможностей практической реализации: при создании экологических разделов предпроектной, проектной документации, обосновании требований экобезопасности на этапах инвестиционной деятельности; в рамках актуализации правовых актов в области проектирования и строительства, сводов правил, стандартов в части дополнения положениями, содержащими указания по применению ресурсной составляющей отходов при осуществлении строительных, монтажных работ; в качестве критериев экологической оценки территорий, городской среды при разработке территориальных схем обращения с отходами, концепций социально-экономического, промышленного развития; анализе эффективности работы государственных органов путем введения нечеткого показателя, отражающего ситуацию в области ресурсосбережения и экологической безопасности как индикатора устойчивого развития регионов.

Список источников

1. Суздалева А.Л. Экологическая глобалистика и устойчивое развитие на этапе техногенной трансформации биосферы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2020. № 1. С. 6–11.
2. Теличенко В.И., Слесарев М.Ю. «Зеленая» стандартизация технологий формирования природоподобной среды жизнедеятельности // Вестник МГСУ. 2018. № 5 (116). С. 558–567.
3. Цховребов Э.С., Величко Е.Г. Теоретические положения формирования методологии создания комплексной системы обращения строительных отходов // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 1. С. 83–93.
4. Цховребов Э.С., Садова С.В. Экономические и правовые вопросы оценки экологического ущерба (вреда) // Вестник РАЕН. 2014. Т. 14. № 2. С. 57–59.
5. Elgizawy S., El-Haggar S., Nassar K. Slum development using zero waste concepts: construction waste case study // Procedia engineering. 2016. Vol. 145. P. 1306–1313.
6. Domenech T., Bahn-Walkowiak B. Transition towards a resource efficient circular economy in Europe: policy lessons from the EU and the member states // Ecological economics. 2019. Vol. 155. P. 7–19.
7. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions // Resources, conservation & recycling. 2017. № 127. P. 9.
8. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment / J. Hart [et al.] // Procedia CIRP. 2019. № 80. P. 619–624.
9. Ehresman T., Okereke C. Environmental justice and conceptions of the green economy // International environmental agreements: politics, law & economic. 2015. Vol. 15. Iss. 1. P. 13–27.
10. Resource efficiency and climate change: material efficiency strategies for a low-carbon future / E. Hertwich [et al.] // A Report of the int. resource panel. United nations environment programme. 2020.
11. Goldstein B., Rasmussen F. LCA of buildings and the built environment // Life cycle assessment. Theory and practice. 2018. Ch. 28. P. 695–720.
12. Simulation-based optimization for planning of effective waste reduction, diversion, and recycling programs / N. Celik [et al.] // University of Miami. 2012. 34 p.
13. Bartoletto A. Waste prevention policy and behaviour. New approaches to reducing waste generation and its environmental impacts // Routledge studies in waste management and policy. 2015. P. 30.
14. Azarov V.N., Manzhilevskaya S.E., Petrenko L.K. Organizational and economic problems of ecological safety in construction // Construction and architecture: theory and practice of innovative development – organisation and technology of construction production: International scientific conference: materials science and engineering. 2019. P. 055007.
15. Макаров Г.В., Слесарев М.Ю. Применение нечетких множеств в экспертных системах экологического мониторинга // Экологические системы и приборы. 2006. № 2. С. 39–45.
16. Костарев С.Н., Середа Т.Г. Проектирование комбинационного автомата для оценки безопасности источника опасности // Вестник ПНИПУ. 2016. № 4. С. 77–87.

References

1. Suzdaleva A.L. Ekologicheskaya globalistika i ustojchivoe razvitie na etape tekhnogennoj transformacii biosfery // Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya. 2020. № 1. S. 6–11.
2. Telichenko V.I., Slesarev M.Yu. «Zelenaya» standartizaciya tekhnologij formirovaniya prirodopodobnoj sredy zhiznedeyatel'nosti // Vestnik MGSU. 2018. № 5 (116). S. 558–567.
3. Skhovrebov E.S., Velichko E.G. Teoreticheskie polozheniya formirovaniya metodologii sozdaniya kompleksnoj sistemy obrashcheniya stroitel'nyh othodov // Vestnik MGSU. 2017. T. 12. № 1. S. 83–93.
4. Skhovrebov E.S., Sadova S.V. Ekonomicheskie i pravovye voprosy ocenki ekologicheskogo ushcherba (vreda) // Vestnik RAEN. 2014. T. 14. № 2. S. 57–59.

5. Elgizawy S., El-Haggar S., Nassar K. Slum development using zero waste concepts: construction waste case study // *Procedia engineering*. 2016. Vol. 145. P. 1306–1313.
6. Domenech T., Bahn-Walkowiak B. Transition towards a resource efficient circular economy in Europe: policy lessons from the EU and the member states // *Ecological economics*. 2019. Vol. 155. P. 7–19.
7. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions // *Resources, conservation & recycling*. 2017. № 127. P. 9.
8. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment / J. Hart [et al.] // *Procedia CIRP*. 2019. № 80. P. 619–624.
9. Ehresman T., Okereke C. Environmental justice and conceptions of the green economy // *International environmental agreements: politics, law & economic*. 2015. Vol. 15. Iss. 1. P. 13–27.
10. Resource efficiency and climate change: material efficiency strategies for a low-carbon future / E. Hertwich [et al.] // *A Report of the int. resource panel. United nations environment programme*. 2020.
11. Goldstein B., Rasmussen F. LCA of buildings and the built environment // *Life cycle assessment. Theory and practice*. 2018. Ch. 28. P. 695–720.
12. Simulation-based optimization for planning of effective waste reduction, diversion, and recycling programs / N. Celik [et al.] // *University of Miami*. 2012. 34 p.
13. Bartoleto A. Waste prevention policy and behaviour. New approaches to reducing waste generation and its environmental impacts // *Routledge studies in waste management and policy*. 2015. P. 30.
14. Azarov V.N., Manzhilevskaya S.E., Petrenko L.K. Organizational and economic problems of ecological safety in construction // *Construction and architecture: theory and practice of innovative development – organisation and technology of construction production: International scientific conference: materials science and engineering*. 2019. P. 055007.
15. Makarov G.V., Slesarev M.Yu. Primenenie nechetkih mnozhestv v ekspertnyh sistemah ekologicheskogo monitoringa // *Ekologicheskie sistemy i pribory*. 2006. № 2. S. 39–45.
16. Kostarev S.N., Sereda T.G. Proektirovanie kombinacionnogo avtomata dlya ocenki bezopasnosti istochnika opasnosti // *Vestnik PNIPU*. 2016. № 4. S. 77–87.

Информация об авторах:

Цховребов Эдуард Станиславович, член-корреспондент Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова (123557, Москва, ул. Пресненский вал, д. 19), кандидат экономических наук, доцент, rebrovstanislav@rambler.ru

Слесарев Михаил Юрьевич, профессор кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26), доктор технических наук, профессор, e-mail: slesarev@mgsu.ru, RSCI Author ID: 148485

Information about the authors:

Tskhovrebov Eduard S., corresponding member of A.M. Prokhorov academy of engineering sciences (123557, Moscow, Presnensky val str., 19), candidate of economic sciences, associate professor, e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru

Slesarev Mikhail Yu., professor of the department of construction of thermal and nuclear power facilities of National research Moscow state university of civil engineering (129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26), doctor of technical sciences, professor, e-mail: slesarev@mgsu.ru, RSCI Author ID: 148485

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 21.09.2022; одобрена после рецензирования: 14.10.2022; принята к публикации: 24.10.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 21.09.2022; approved after review: 14.10.2022; accepted for publication: 24.10.2022

Научная статья
УДК 62 – 133.241

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ПРОТЕКТОРНАЯ ЗАЩИТА АКТИВНЫХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ОТКРЫТОГО ИСПОЛНЕНИЯ ДЛЯ СУДОВ ЛЕДОВОГО КЛАССА

✉ Рева Юрий Викторович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ spi78@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению вопросов, связанных с электрохимической протекторной защитой активных погружных электрических машин в морской среде на буровых установках и платформах. Показано, что при электрическом контакте электротехнической стали статора и ротора с протекторами из сплава АМ-3М скорость коррозии поверхностей расточки статора и бочки ротора будет уменьшена, а коррозии будут подвергаться только протекторы. Приведен математический аппарат расчета скорости коррозии при контакте различных материалов при переходе из анодного в катодное состояние. Также рассмотрены некоторые характерные особенности коррозионной стойкости различных материалов к морской воде отдельно и друг с другом.

Ключевые слова: электрохимическая контактная коррозия, погружные электрические машины, погружные электрические двигатели, сопротивление изоляции, роторы и статоры двигателей, углеродистая сталь и медь, железо статора и ротора

Для цитирования: Рева Ю.В. Электрохимическая протекторная защита активных частей электрических машин открытого исполнения для судов ледового класса // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 104–110.

ELECTROCHEMICAL TREAD PROTECTION OF ACTIVE PARTS OF ELECTRIC MACHINES OF OPEN DESIGN FOR ICE-CLASS VESSELS

✉ Reva Yuri V.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ spi78@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the consideration of issues related to electrochemical protective protection of active submersible electric machines in the marine environment on drilling rigs and platforms. The article shows that with electrical contact of the electrical steel of the stator and rotor with protectors made of AM-3M alloy, the corrosion rate of the surfaces of the boring of the stator and the rotor barrel will be reduced, and only the protectors will be subjected to corrosion. The mathematical apparatus for calculating the corrosion rate at the contact of various materials during the transition from the anode to the cathode state is given. Some characteristic features of corrosion resistance of various materials to seawater separately and with each other are also considered.

Keywords: electrochemical contact corrosion, submersible electric machines, submersible electric motors, insulation resistance, motor rotors and stators, carbon steel and copper, stator and rotor iron

For citation: Reva Yu.V. Electrochemical tread protection of active parts of electric machines of open design for ice-class vessels // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 104–110.

Введение

Как известно, в конструкцию электрической машины (ЭМ) входят различные металлы и сплавы активных частей, а именно: корпус, подшипниковые щиты, вал, изготовленный из нержавеющей стали, пассивированного титана, стали или другого сплава; электротехническая сталь ротора; короткозамкнутая обмотка ротора «беличья клетка» из меди; подшипники из композиционного порошкового материала (металлокерамики) и т.д., которые находятся в плотном электрическом контакте между собой. Поэтому при погружении указанных деталей в морскую воду (электролит) на них будут происходить электрохимические процессы, где каждый металл будет играть роль электрода. Разность потенциалов между указанными металлами вызывает контактную коррозию, разрушающую их. Разрушению подвергается тот металл, у которого электродный потенциал ниже. В данном случае к ним относятся: электротехнические стали статора и ротора, материал корпуса и вала, а также материал подшипников и медных стержней короткозамкнутой обмотки ротора. При электрическом контакте корпуса с пакетом статора и меди короткого замыкания обмотки с пакетом ротора в местах соприкосновения их с морской водой возникает электрохимическая контактная коррозия. В итоге корпус из нержавеющей стали и медь ротора будут в исходном состоянии, а электротехнические стали статора и ротора будут подвергаться электрохимической контактной коррозии, которая влечет за собой увеличение величины немагнитного зазора и может достигнуть критического состояния и не обеспечить требуемого ресурса работы ЭМ. Поэтому необходимо железо статора и ротора перевести из анодного состояния в катодное.

Целью исследования в данной статье является показ некоторых особенностей применения различных сплавов, повышающих надежность и долговечность работы погружных электродвигателей при применении протекторной защиты активных частей погружных ЭМ (ПЭМ) открытого исполнения [1].

Методы исследования

В основе исследования положен метод экспертных оценок специалистов по вопросам электрохимической протекторной защиты активных частей ПЭМ открытого исполнения для судов ледового класса.

Институтом океанологии им. П.П. Ширшова экспериментально изучалась и исследовалась коррозионная стойкость различных материалов в морской воде отдельно и в контактной паре друг с другом. В частности, произведены исследования контактной коррозии в Центральной Атлантике на различных глубинах при температуре верхнего слоя 20 °С на следующих образцах контактных пар:

П₁: углеродистая сталь и медь (анод, катод);

П₂: углеродистая сталь и сталь X18H10T (анод, катод);

П₃: углеродистая сталь и алюминиево-магниевого сплава марки АМ-3М (анод, катод).

Получены следующие результаты в поверхностном слое воды:

$$П_1=0,5 \text{ мм/год}; П_2=0,348 \text{ мм/год}; П_3=0,32 \text{ мм/год}.$$

В данном опыте образцы контактных пар находились в стационарном состоянии, то есть без движения морской воды. Скорость коррозии П₁ больше скорости П₂ при одном и том же аноде Fe, потому что никель (Ni) и хром (Cr) при контакте с другими материалами, переходя в катодное состояние, дают положительный электродный потенциал меньше, чем медь (Cu). В итоге разность потенциалов между электродами первой контактной пары будет больше, чем второй, а, следовательно, гальванический ток и, соответственно, расход анода, то есть Fe, будет больше, чем во второй контактной паре при одинаковых условиях испытаний.

На погружном электрическом двигателе (ЭД), работавшем в искусственной морской воде в течение 4 100 ч, установлено уменьшение диаметров расточки статора и бочки ротора на одну сторону на величину:

$$\Delta D_{\text{ст}} = \frac{1}{2} (D_{\text{ст1}} - D_{\text{ст2}}) = 0,225 \text{ мм};$$

$$\Delta D_{\text{рот}} = \frac{1}{2} (D_{\text{рот1}} - D_{\text{рот2}}) = 0,375 \text{ мм}.$$

Данные результаты о коррозии соответствуют 4 100 ч работы электродвигателя в соленой воде с содержанием 3,5 % NaCl. В соответствии с ГОСТ 9.908–85 «Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости» скорость коррозии должна определяться за один год, поэтому необходимо пересчитать эти результаты [2].

В данном случае имеем:

$$K = \frac{\text{Год (ч)}}{\text{факт. (ч)}} = \frac{8760}{4100} = 2,134. \quad (1)$$

Учитывая этот коэффициент в выражениях (1), получим:

$$P_{\text{ст}} = K * 0,225 = 0,5 \text{ мм/год};$$

$$P_{\text{рот}} = K * 0,375 = 0,5 \text{ мм/год}.$$

В электродвигателе асинхронной машины корпус был изготовлен из нержавеющей стали марки X18H10T, в соответствии с этим в составе конструкции электродвигателя при испытаниях были контактирующие пары:

$P_{\text{ст}}$: электротехническая углеродистая сталь и сталь X18H10T (анод, катод);

$P_{\text{рот}}$: электротехническая углеродистая сталь и медь (анод, катод).

Актуальность данной статьи не вызывает сомнения, поскольку для применения по назначению в агрессивной морской среде погружных ЭД необходимы соответствующие материалы, способные длительное время работать в этих условиях. Применение протекторной защиты активных частей дает возможность значительно уменьшить коррозию используемых материалов. В качестве таких материалов можно использовать цинк, алюминий, магний и их соответствующие сплавы. Протектор поляризует сталь до такого потенциала, при котором коррозия незначительна или отсутствует вовсе [3].

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время уже разработана электрохимическая протекторная защита от контактной коррозии в морской воде активных частей ЭМ на основании гидролитической стойкости металлов с использованием алюминиево-магниевый-цинкового сплава, который выполняет функции анода, а активные части ЭМ переходят в катодное состояние. Для защиты от контактной коррозии в пазу медь-сталь установлены протекторы, например, из алюминиево-магниевый сплава марки АМ-3М, расположенные симметрично относительно друг друга в нескольких пазах, количество которых может быть принято соответствующим числу 3,6 или 12 мм с тем, чтобы не нарушать балансировку ротора. Протекторы имеют по всей длине электрические контакты со стержнями обмотки ротора и вместе с ними изолированные слоем от стали, например фторлакотканью Ф4МДЭ. В данном случае протекторы являются анодами, а медные стержни катодами [4].

В связи с тем, что коррозия происходит главным образом в немагнитном зазоре, проводя к недопустимому увеличению, на валу установлены с натягом втулки – протекторы из того же сплава АМ-3М, защищающие от электрохимической коррозии в основном пакет сердечника ротора. Поверхность бочки ротора является катодом, а втулки протектора будут анодом [5].

Определим скорость коррозии и размеры протекторов. Для стационарных установок для статического состояния морской воды скорость коррозии металла с учетом глубины погружения определяется по формуле (1), то есть уменьшением его толщины на год.

$$\Pi = \mu_{\text{пк}} * \frac{K}{\delta} * 10^{-3}, \quad (2)$$

где $\mu_{\text{пк}} = 1,2 - 1,5$ – коэффициент роста скорости коррозии металлов и сплавов от глубины погружения в морскую воду (1,2 – до 500 м; 1,5 – до 5 000 м и более); K – потери массы, г/м² год; δ – плотность металла, г/см³.

В ЭМ охлаждающая жидкость – морская вода (электролит) находится в движении от вращения ротора, в связи с чем должна быть учтена поправка на скорость движения электролита. Эта поправка учитывает увеличение скорости коррозии металлов в результате смывания продуктов электрохимической коррозии с активных частей внутри ЭМ и образование на их месте новых при движении воды во время вращения ротора ЭМ, а именно:

$$\Pi = \mu_v * \mu_{\text{пк}} * \frac{K}{\delta} * 10^{-3}, \text{ мм/год}, \quad (3)$$

где $\mu_{\text{пк}}$ – коэффициент, учитывающий глубину погружения; μ_v – коэффициент, учитывающий вращение ротора, то есть движение морской воды внутри полости ЭМ [6].

Сопоставляя (2) с вышеприведенными результатами испытаний института П.П. Ширшова, имеем: $\Pi_{\text{рот}}$ соответствует Π_1 , $\Pi_{\text{ст}}$ – Π_2 .

Из соотношения полученных результатов определяется увеличение скорости коррозии при движении морской воды в двигателе:

$$\mu_{\text{врот}} = \frac{\Pi_{\text{рот}}}{\Pi_1} = \frac{0,8}{0,5} = 1,6;$$

$$\mu_{\text{вст}} = \frac{\Pi_{\text{ст}}}{\Pi_2} = \frac{0,5}{0,348} = 1,436.$$

Из формулы (3) следует, что поправка на скорость коррозии при вращении ротора приблизительно равна $\mu_v = (1,4 - 1,6)$. Предельная скорость коррозии для алюминиево-магниевого сплава АМ-3М в контакте с углеродистой сталью будет равняться:

$$\Pi_{\text{пр}} = \mu_v * \mu_{\text{пк}} * \Pi_3 = 0,5 \text{ мм/год}, \quad (4)$$

где $\mu_{\text{пк}} \leq 1$ – для сплава АМ-3М; μ_v – поправка на скорость движения воды внутри ЭМ; $\Pi_3 = 0,32$ мм/год – скорость коррозии сплава АМ-3М при контакте с углеродистой сталью, погруженных в морскую воду [7].

Толщина протектора при нахождении и работе ЭМ в течение всего срока в морской воде будет определяться:

$$h_{\text{пр}} = K_3 * \Pi_{\text{пр}} * T_2,$$

где K_3 – коэффициент запаса; T_2 – срок службы, год.

В соответствии с зависимостью (4) для втулки-протектора ротора и кольца протектора статора толщину протектора принимаем равной 8–10 мм с учетом коэффициента запаса на 15 лет.

В процессе эксплуатации ЭМ контролируется скорость коррозии ротора, статора и протекторов периодическим замером геометрических размеров. Определяется уменьшение диаметра ротора, увеличение диаметра расточки статора, уменьшение размеров протектора на один год и это уменьшение не должно превышать допустимых, то есть допустимых скоростей коррозии. Например, для ротора:

$$\Delta D = \frac{1}{2} * (D_1 - D_2) \leq P_1,$$

где $P_1=0,005-0,01$ мм/год – допустимая скорость коррозии для стали ротора.

Аналогично для толщины протекторов:

$$\Delta h = (h_1 - h_2) \leq P_{пр},$$

где $P_{пр}=0,5$ мм/год – допустимая скорость коррозии для АМ-3М.

В некоторых машинах для протекторной защиты ротора можно применять протекторы в виде дисков, напрессованных на вал вплотную к пакету, диаметром меньшим диаметра ротора на величину магнитного мостика паза на (0,5–1,0) мм. На этот диск можно возложить функции балансировочного диска [8].

В качестве протекторов можно использовать все металлы, расположенные в электрохимическом ряду выше железа и меди.

Если корпус из титанового сплава, то в качестве протекторов необходимо использовать металл или сплав выше титана с более отрицательным потенциалом. Практически в качестве протекторов в конструкции ПЭД используют магний, алюминий, цинк в виде их сплавов, например АМ-3М, Д16Т и др. Очень ограниченно используется кальций, марганец и цирконий. Например, для титановых сплавов, из которых делают в частных случаях корпуса ПЭД, не отработан протекторный сплав для защиты активных частей машины от влияния титана в электролите, ведь при контакте титана с другими металлами и помещении их в электролит он из анодного состояния переходит в катодное, то есть меняет полярность. Поэтому в данном случае рекомендуется все детали из титана подвергнуть пассивации [9].

Заключение

Таким образом, разработанная электрохимическая протекторная защита в виде колец, втулок пластин, дисков и т.д. из алюминиевого сплава позволяет приостановить контактную (основную) коррозию активных частей ЭМ с учетом глубины погружения и скорости движения морской воды внутри машины от вращения ротора на заданный ресурс (10 000 ч) и срок службы 10 лет с высокой надежностью и работоспособностью.

Практическая ценность проведенных результатов состоит в том, что при помощи представленных формульных зависимостей можно рассчитать коррозионную стойкость различных материалов к морской воде, конструкцию ЭМ в условиях ограниченного объема их размещения на судах ледового класса и буровых платформах.

Научная новизна и теоретическая значимость данной работы обусловлена тем, что впервые расширено и дополнено знание об электрохимической протекторной защите активных частей ПЭМ, которая заключается в том, что при электрическом контакте электротехнической стали статора и ротора с протекторами из сплава АМ-3М скорость коррозии поверхностей расточки статора и бочки ротора будет приостановлена, а коррозии будут подвергаться протекторы. Полученные результаты отличаются от ранее известных тем, что в результате применения электрохимической протекторной защиты активных частей ЭМ открытого

исполнения повышается эффективность и качество их работы в условиях агрессивного воздействия морской среды, срок действия увеличивается на несколько лет [10].

Список источников

1. Рева Ю.В. Технология изготовления и способ сборки электрических машин открытого исполнения на средствах водного транспорта // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 2. С. 36–40.
2. Погружные электродвигатели с повышенным напряжением – двойной эффект без инвестиций / С.Б. Якимов [и др.] // Научно-технический вестник ОАО «НК «РОСНЕФТЬ». Приложение. 2014. № 3.
3. Рева Ю.В. Применение опорно-упорных подшипников скольжения электрических машин открытого исполнения в морской воде Арктической зоны // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 1. С. 27–30.
4. Вешняков А.С. Опыт ОАО «Удмуртнефть» по внедрению штанговых насосов двойного действия // Нефтегазовая вертикаль – Технологии/специальное приложение. 2014.
5. Францев А.В., Юшкин А.Ю., Якимов С.Б. Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса // Научно-технический вестник ОАО «НК «РОСНЕФТЬ». 2013. № 6. С. 62–66.
6. Рева Ю.В. Технические средства добычи минеральных ресурсов и полезных ископаемых из глубин Мирового океана // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 1. С. 16–19.
7. Шафиков И.Н. Пути повышения энергоэффективности электроприводов скважинных центробежных насосных установок // Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий: сб. науч. трудов III Междунар. (VI Всерос.) науч.-техн. конф. / отв. ред. В.А. Шабанов. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. С. 156–160.
8. Шафиков И.Н. Регулируемый привод скважинного электроцентробежного насоса на основе высоковольтного многоуровневого преобразователя частоты // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2019. Т. 15. № 3. С. 53–60.
9. Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и создание комплексных аварийно-спасательных центров в Арктике: Междунар. науч.-практ. конф. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012.
10. Марек Е. Обмотки электрических машин постоянного и переменного тока: пер. с франц. М., 2014.

References

1. Reva Yu.V. Tekhnologiya izgotovleniya i sposob sborki elektricheskikh mashin otkrytogo ispolneniya na sredstvakh vodnogo transporta // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 2. S. 36–40.
2. Pogruzhnye elektrodvigateli s povyshennym napryazheniem – dvojnnoj effekt bez investicij / S.B. Yakimov [i dr.] // Nauchno-tekhnicheskij vestnik OAO «NK «ROSNEFT'». Prilozhenie. 2014. № 3.
3. Reva Yu.V. Primenenie oporno-upornykh podshipnikov skol'zheniya elektricheskikh mashin otkrytogo ispolneniya v morskoy vode Arkticheskoy zony // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 1. S. 27–30.
4. Veshnyakov A.S. Opyt OAO «Udmurtneft'» po vnedreniyu shtangovykh nasosov dvojnogo dejstviya // Neftegazovaya vertikal' – Tekhnologii/special'noe prilozhenie. 2014.
5. Francev A.V., Yushkin A.Yu., Yakimov S.B. Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa // Nauchno-tekhnicheskij vestnik OAO «NK «ROSNEFT'». 2013. № 6. S. 62–66.
6. Reva Yu.V. Tekhnicheskie sredstva dobychi mineral'nykh resursov i poleznykh iskopaemykh iz glubin Mirovogo okeana // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 1. S. 16–19.

7. Shafikov I.N. Puti povysheniya energoeffektivnosti elektroprivodov skvazhinnyh centrebeznyh nasosnyh ustanovok // Elektroprivod, elektrotekhnologii i elektrooborudovanie predpriyatij: sb. nauch. trudov III Mezhdunar. (VI Vseros.) nauch.-tekhn. konf. / otv. red. V.A. Shabanov. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2017. S. 156–160.

8. Shafikov I.N. Reguliruemyy privod skvazhinного электроцентробежного насоса на основе высоковольтного многорядного преобразователя частоты // Elektrotekhnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. 2019. T. 15. № 3. S. 53–60.

9. Problemy preduprezhdeniya i likvidacii chrezvychajnyh situacij i sozdanie kompleksnyh avarijno-spatatel'nyh centrov v Arktike: Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M.: FGBU VNII GOCHS (FC), 2012.

10. Marek E. Obmotki elektricheskikh mashin postoyannogo i peremennogo toka: per. s franc. M., 2014.

Информация об авторах:

Рева Юрий Викторович, доцент кафедры сервис безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат военных наук, доцент, e-mail: yreva@list.ru

Information about the authors:

Reva Yury V., associate professor of the department of security service of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of military sciences, associate professor, e-mail: yreva@list.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 13.10.2022; одобрена после рецензирования: 08.11.2022;
принята к публикации: 16.11.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 13.10.2022; approved after review: 08.11.2022;
accepted for publication: 16.11.2022

Научная статья
УДК 614.841.2

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПРИРОДНЫЕ ПОЖАРЫ НА ПРИМЕРЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И РЯДА ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

✉ Ложкина Ольга Владимировна;
Орловцев Сергей Викторович.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.
Савинов Александр Геннадьевич.
Институт государственной службы и управления РАНХиГС, Москва, Россия
✉ lojkina@yandex.ru

Аннотация. Одним из наиболее важных последствий потепления климата является его вклад в наблюдаемые изменения режима лесных пожаров: увеличилась частота, масштабы и длительность экстремально жарких погодных условий, способствующих длительной засухе. Как следствие, выросло число и интенсивность распространения лесных пожаров.

Приведен анализ обозначенной проблемы на примере Российской Федерации, Австралии и стран Северной Америки. С 1970 по 2019 г. глобальные выбросы парниковых газов выросли более чем в два раза с 28 до 58 Гт. С 2010 по 2019 г. выбросы парниковых газов в среднем увеличивались ежегодно на 1,3 %. Начиная с 2010 г. доля CO₂, поступающего в атмосферу в результате природных пожаров, составляет 10 %. Влияние изменения климата на продолжительность и масштабность природных пожаров достигает по оценкам специалистов 30–45 %.

Ключевые слова: изменения климата, глобальное потепление, природные пожары

Для цитирования: Ложкина О.В., Орловцев С.В., Савинов А.Г. Анализ влияния изменения климата на природные пожары на примере Российской Федерации и ряда зарубежных стран // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 111–121.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON WILDFIRES IN THE RUSSIAN FEDERATION AND SOME FOREIGN COUNTRIES

✉ Lozhkina Olga V.;
Orlovitsev Sergey V.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.
Savinov Alexander G.
Institute of public administration and public service of the Russian academy of national economy and public administration, Moscow, Russia
✉ lojkina@yandex.ru

Abstract. One of the most important consequences of anthropogenic climate warming is its contribution to the change of wildfires regime: the frequency, scale and duration of extremely hot weather contributing to prolonged drought have increased over last two decades. As a result, the number and intensity of the spread of wildfires has increased. The article provides an analysis of the problem discussed on the example of the Russian Federation, Australia and countries of the Northern America.

One of the most important consequences of climate warming is its contribution to the observed changes in the wildfire regime: the frequency, extent and duration of extremely hot weather conditions have increased, contributing to prolonged drought. As a result, the number and intensity of the spread of forest fires has increased. The article provides an analysis

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

of the indicated problem on the example of the Russian Federation, Australia, Canada, the USA. Greenhouse gases emissions more than doubled (from 28 to 58 Gt) from 1970 to 2019, and has been increasing annually by 1,3 % on average since 2010. From 2010, the share of CO₂ released into the atmosphere because of natural fires is about 10 %. The impact of climate change on the duration and scale of wildfires is estimated by experts to be 30–45 %.

Keywords: wildfires, climate change, global warming

For citation: Lozhkina O.V., Orlovtssev S.V., Savinov A.G. Analysis of the impact of climate change on wildfires in the russian federation and some foreign countries // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 111–121.

1. Введение

Со времени индустриализации 1850–1900 гг. на Земле наблюдалась долгосрочная тенденция к потеплению: по всемирно признанным оценкам глобальная средняя температура поверхности увеличилась на 1,09 °С [1]. В некоторых районах планеты, в том числе в России, средняя температура увеличивается более быстрыми темпами, чем среднемировая, а в Арктике температура повышается более чем в два раза быстрее, чем в среднем по миру [1, 2].

Самые крупные аномалии температуры наблюдались на территории Западносибирского и Восточносибирского районов: усредненные значения аномалий среднегодовой температуры воздуха составили соответственно 5,9 и 4,7 °С. В г. Верхоянске, расположенном за Полярным кругом на территории республики Саха (Якутия), 20 июня 2020 г. была зафиксирована рекордная температура, равная 38 °С [3, 4].

Одним из наиболее важных последствий антропогенного потепления климата является его вклад в наблюдаемые изменения режима лесных пожаров: увеличилась частота и масштабы экстремальных погодных условий, способствующих длительной засухе и, как следствие, выросло число и интенсивность распространения лесных пожаров.

Во всех экосистемах Земли лесные пожары становятся все более интенсивными и распространяются по всему миру: в Российской Федерации, Европе, Австралии, Индии, Китае, странах Латинской Америки и Африки, странах Северной Америки природные пожары наносят ущерб окружающей среде, дикой природе, здоровью людей, инфраструктуре, экономике [1–11].

Вероятность возникновения лесных пожаров, их распространение и интенсивность, продолжительность и масштабы, а также ущерб экономике, окружающей среде и обществу зависят от комплексного сочетания биологических, метеорологических, физических и социальных факторов. Во всем мире многие из этих факторов – климат, способы землепользования и управления земельными и лесными ресурсами, а также социально-демографические факторы меняются, как следствие, вызывая в большинстве стран и на планете в целом повышение риска возникновения лесных пожаров [1].

Целью настоящего исследования явился анализ по открытым источникам информации влияния глобального потепления климата на динамику, интенсивность, масштаб лесных пожаров в мире и в Российской Федерации.

2. Объект и методика исследования

Объект исследования – природные пожары; предмет исследования – воздействие изменения климата на природные пожары.

Методика исследования включала сбор, систематизацию и сравнительный анализ отечественных и зарубежных научных публикаций, посвященных проблеме влияния глобального потепления на динамику изменения количества и масштабности природных пожаров в течение последних десятилетий в мире и в России, а также сбор и анализ статистических данных по природным пожарам в Российской Федерации с использованием открытых источников информации, в том числе официального сайта Единой межведомственной информационно-статистической системы Российской Федерации (URL: <https://www.fedstat.ru>).

3. Результаты исследования и их обсуждение

3.1. Краткий анализ проблемы глобального изменения климата

Вопрос антропогенного влияния деятельности человека на климат давно интересовал ученых. Этой проблеме уделял внимание известный шведский ученый, лауреат нобелевской премии Сванте Аррениус, который еще в конце XIX в. на основании расчетных оценок предположил, что увеличение глобального содержания углекислого газа в воздухе в два раза может привести к повышению глобальной температуры на 5 °С [12]. В 1938 г. английский ученый Гай Стюарт Каллендар представил научной общественности свою модель, построенную на основании сопоставления значений приземной температуры воздуха с начала XIX в. и до 1938 г. и концентрации CO₂. Согласно его расчетам удвоение концентрации CO₂ относительно доиндустриального периода может привести к увеличению температуры на 2 °С. Его оценки оказались значительно более точными и соответствующими современным оценкам, выполненным по модели Межправительственной группы экспертов по изменению климата [13]. Эта проблема волновала и великого русского ученого В.И. Вернадского, основоположника учения о биосфере и влиянии живых существ на облик Земли. Вернадский В.И. тоже обращал внимание на то, что процесс индустриализации сопровождается увеличением потребления (сжигания) разных видов углеродсодержащего топлива и это может повлиять на климат. Очевидно, что за последние 50 лет свидетельства влияния человека на климат стали более весомыми. На рис. 1 представлен график изменения глобальной температуры у поверхности Земли.

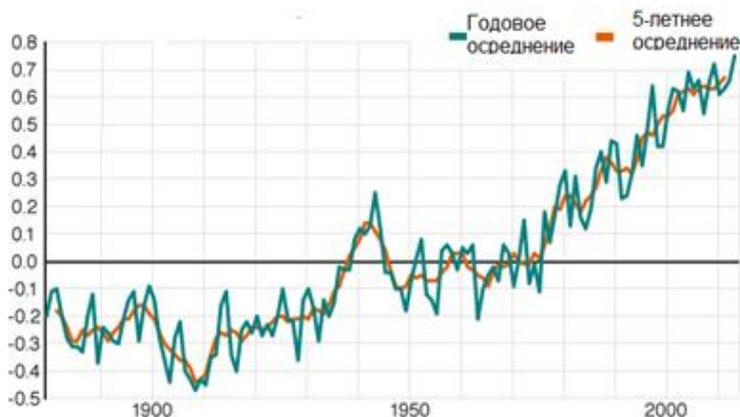


Рис. 1. Динамика изменения глобальной температуры у поверхности Земли (базовый уровень – 1951–1980 гг.)

Среди причин глобального потепления ученые выделяют: собственные колебания климатической системы; увеличение солнечной активности и, как следствие, изменение солнечной радиации; вулканическую деятельность, сопровождающуюся выбросом углекислого газа и мелкодисперсных взвешенных частиц; антропогенные воздействия и связанный с ними парниковый эффект, создающийся парниковыми газами (ПГ), к которым относятся углекислый газ CO₂, метан CH₄, пары воды, закись азота, галогенуглеводороды. Следует обратить внимание на то, что в последнее время пристальное внимание уделяется исследованию роли мелкодисперсных взвешенных частиц в изменении климата, в первую очередь черного углерода (частиц сажи с аэродинамическим диаметром менее 2,5 мкм).

На рис. 2 отражена динамика глобальных выбросов парниковых газов в эквиваленте выбросов CO₂ в результате антропогенной деятельности и природных пожаров в период с 1970 по 2020 г. [1].

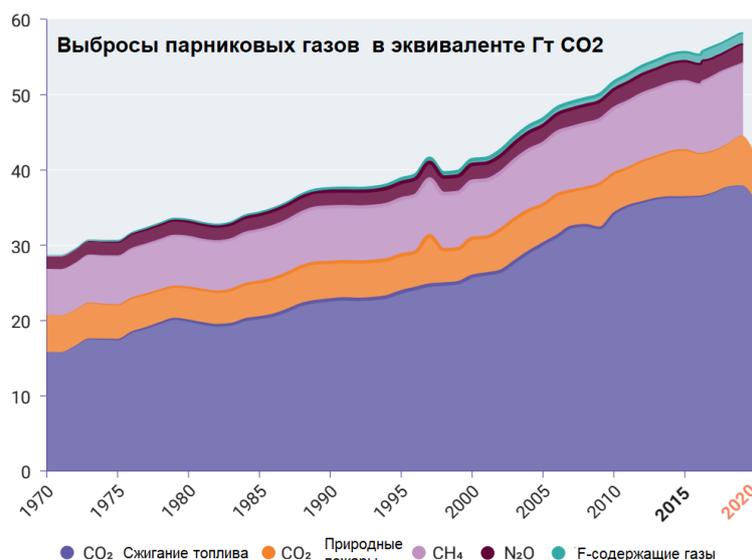


Рис. 2. Динамика антропогенных выбросов парниковых газов с 1970 по 2020 г.

С 1970 по 2019 г. выбросы ПГ выросли более чем в два раза с 28 до 58 Гт. С 2010 по 2019 г. выбросы ПГ в среднем увеличивались ежегодно на 1,3 % и достигли рекордного значения в 51,5 Гт в эквиваленте CO₂ в 2019 г. без учета CO₂, выделившегося в атмосферу без учета природных пожаров, и 58,1 Гт с его учетом. В 2020 г. (в год пандемии Covid-19) выбросы ПГ сократились на 5,4 %. В выбросах ПГ доминирует топливный CO₂, доля которого с 2010 г. составляет около 66 %, а в 2019 г. его валовый глобальный выброс достиг 37,9 Гт. Начиная с 2010 г. доля CO₂, поступающего в атмосферу в результате природных пожаров, составляет около 10 % и, очевидно, будет увеличиваться в среднесрочной перспективе из-за изменения климата.

В табл. 1 приведены данные об изменении глобальных концентраций мажорантных парниковых газов в атмосфере относительно доиндустриальной эпохи [10].

Таблица 1. Изменение содержания парниковых газов в атмосфере

Показатель	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Глобальная средняя концентрация, 2020 г.	413,2±2 ppm	1889±2 ppb	333,2±0,1 ppb
Содержание в 2020 г. относительно 1750 г.	149 %	262 %	123 %
Увеличение в абсолютных значениях, 2019/2020 гг.	2,5 ppm	11 ppb	1,2 ppb
Относительное увеличение, 2019/2020 гг.	0,61 %	0,59 %	0,36 %
Усредненный ежегодный прирост с 2010 по 2020 г.	2,4 ppm/год	8 ppb/год	0,99 ppb/год

Данные табл. 1 свидетельствуют об увеличении концентрации CO₂ в 1,5 раза, концентрации метана в 2,6 раз, концентрации закиси азота в 1,2 раза. Также представлены данные о глобальной средней концентрации ПГ по состоянию на 2020 г. Несмотря на снижение выбросов ПГ в 2020 г., по сравнению с 2019 г., концентрации всех ПГ демонстрировали тенденцию роста, это свидетельствует о кумулятивных процессах в атмосфере.

Среди последствий изменения климата, наблюдающихся в настоящее время, основными являются: сильные и длительные засухи, нехватка воды, сильные, масштабные и длительные природные пожары, повышение уровня океана, наводнения, таяние ледников и полярных льдов, катастрофические штормы и сокращение биоразнообразия.

Одним из наиболее важных последствий антропогенного потепления климата является его вклад в наблюдаемые изменения режима лесных пожаров: увеличилась частота и масштабы экстремальных погодных условий, способствующих длительной засухе и, как следствие, выросло число и интенсивность распространения лесных пожаров.

3.2. Влияние изменения климата на природные пожары на примере Австралии, Британской Колумбии и западных штатов США

В последнем докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) указывается, что способствующие лесным пожарам метеорологические условия, называемые в международной терминологии «fire weather» («пожароопасная погода» – жаркая, сухая и ветренная), становятся все более частыми во многих регионах планеты, и эта тенденция будет увеличиваться вследствие прогнозируемого глобального потепления [1, 10].

В табл. 2 обобщены сведения о наиболее масштабных и длительных природных пожарах на территориях Австралии, Британской Колумбии (Канада) и запада США [11, 14–16].

Таблица 2. Обобщенные данные о наиболее значимых природных пожарах в Австралии, Британской Колумбии (Канада) и на западе США

Страна или регион	Период лесных пожаров, гг.	S, млн га	Влияние антропогенного изменения климата (АИК)	Источник
Австралия	2019–2020	24,3–33,8	Риск пожароопасной погоды увеличился в 4 раза с 1979 по 2019 г., АИК ~ 30 %	[11]
Британская Колумбия (Канада)	2017, 2018	1,4 2,1	С 1961 по 2018 гг. частота и длительность пожароопасной погоды увеличилась в 2–4 раза; площадь пожаров – в 7–11 раз, АИК ~ 45 %	[12]
Запад США	2015	~12	С 2001 по 2015 г. площадь, подверженной засухе, на 75 %. С 1984 по 2015 г. дополнительная площадь лесных пожаров достигла 4,2 млн га, АИК ~ 45 %	[13, 14]

Полномасштабный исследовательский анализ [11] пожароопасного сезона 2019–2020 гг. на юго-востоке Австралии показал, что столь экстремальная волна жары, как в 2019–2020 гг., была бы на 1–2 °С ниже в начале XX в. Аналогичная волна жары (такой же интенсивности) в наше время примерно в 10 раз более вероятна, чем в 1900 г. Риск пожароопасной погоды значительно вырос с 1979 г. и в 4 раза увеличился с 1900 г. Расчеты по четырем климатическим моделям свидетельствуют о том, что вероятность такого высокого индекса пожароопасной погоды, по крайней мере, на 30 % связана с антропогенным изменением климата.

В то же время засуха 2019–2020 гг. в большей степени, чем с антропогенным изменением климата, была вызвана рекордным смещением диполя Индийского океана и очень сильной аномалией Южной кольцевой моды.

Исследование экстремальных лесных пожаров в Британской Колумбии 2017 г., когда выгорели рекордные 1,2 млн га, показало, что ключевыми факторами, обусловившими это беспрецедентное событие, явились экстремально пожароопасная погода и человеческий фактор [14]. Заметная роль антропогенного изменения климата в повышении риска пожароопасной погоды и увеличении площади выгоревших территорий была подтверждена с помощью имитационных моделей.

Abatzoglou и соратники [15, 16] с использованием нескольких климатических моделей для определения вклада различных факторов в формирование пожароопасных условий установили, что на западе США в период с 2001 по 2015 г. антропогенное изменение климата поспособствовало увеличению более чем на 75 % площади лесов, подвергаемых засухе, а в период с 1984 по 2015 г. площадь лесных пожаров увеличилась почти вдвое, дополнительная площадь лесных пожаров достигла 4,2 млн га.

По оценкам специалистов [11, 14–16], влияние изменения климата на продолжительность и масштабность природных пожаров составило 30–45 %.

3.3. Влияние изменения климата на природные пожары на примере Российской Федерации

Согласно опубликованным данным [2, 17], на территории нашей страны скорость потепления более чем в два раза выше среднемировой: со второй половины 70-х гг. температура приземного воздуха увеличивалась на $0,43\text{ }^{\circ}\text{C}$ за десятилетие, и особенно остро эта проблема проявляется в арктической и субарктических зонах. Это подтверждено результатами метеорологических наблюдений: самые значимые аномалии температуры имели место на территориях Западносибирского и Восточносибирского районов [17]. Динамика изменения среднегодовой температуры воздуха с 1900 по 2020 г. в северной полярной области ($60\text{--}85^{\circ}$ с.ш.) и Северном полушарии ($0\text{--}90^{\circ}$ с.ш.) отражена на рис. 3 [17].

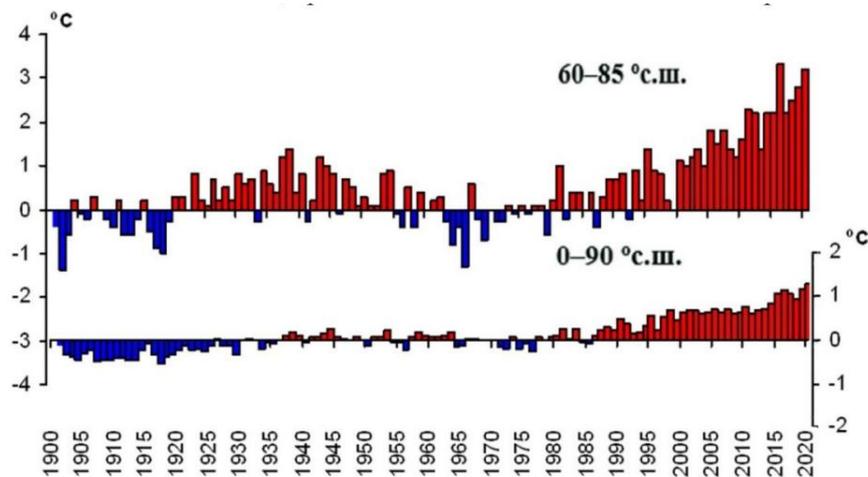


Рис. 3. Динамика изменения среднегодовой температуры воздуха с 1900 по 2020 гг. в северной полярной области ($60\text{--}85^{\circ}$ с.ш.) и Северном полушарии ($0\text{--}90^{\circ}$ с.ш.)

Усредненные значения аномалий среднегодовой температуры воздуха составили соответственно $5,9$ и $4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ [17]. В этот чрезвычайно жаркий период были побиты локальные рекорды жары, в том числе на Верхоянской метеостанции, где 20 июня 2020 г. была зафиксирована температура $38\text{ }^{\circ}\text{C}$. Российская метеорологическая служба и Всемирная метеорологическая организация подтвердили, что эта температура была самой высокой из когда-либо зарегистрированных за Полярным кругом. В ходе проведенного международного исследования [1] было установлено, что это явление с высокой степенью вероятности обусловлено антропогенным изменением климата.

Результаты исследований по гетерогенным прогнозным расчетным данным и данным натурных наблюдений показывают, что для сибирского региона средневзвешенная температура за аналогичный период 1900 г. была бы на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже, чем в 2020 г. В г. Верхоянске максимальные летние температуры повысились не менее чем на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, по сравнению с 1900 г.

К 2050 г. при сохраняющихся тенденциях в сибирском регионе по пессимистичному сценарию можно ожидать повышения температуры не менее чем на $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, по сравнению с 1900 г., и это будет соответствовать дополнительному глобальному потеплению не менее чем на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Продолжительная жара и засуха приводят к увеличению длительности пожароопасного сезона, а вследствие этого растет и количество природных пожаров, достигая рекордных масштабов по площади. Зависимость длительности и масштабности лесных пожаров от подобных изменений климата неоднократно доказывали отечественные и зарубежные ученые в своих научных трудах.

Так, например Е.Г. Щегловой установлена тесная зависимость погодных условий и природных пожаров при исследовании лесных пожаров в Оренбургской обл. [18]. Фуряев В.В. при изучении лесных пожаров также полагал, что в будущем основным источником проблем станут последствия изменений регионального климата, параметров лесов и характера пожарных режимов [19]. Шерстюков Б.Г. и Шерстюков А.Б. на основе прогнозов изменений климата получили соотношение между изменениями климата и лесными пожарами с 2011 по 2099 г. По прогнозным результатам одного из рассматриваемых сценариев, в конце века ожидается увеличение числа пожароопасных дней на 20–29 дней и более на всей Европейской территории России [20].

Российская Федерация, являющаяся самой крупной по площади страной на планете и имеющая богатейший лесной фонд, неизбежно, также как и весь мир, остро испытывает на себе последствия климатического потепления. Анализируя статистику по количеству лесных пожаров в масштабах страны за период с 2016 по 2020 г. включительно, было установлено, что данный показатель начиная с 2017 г. ежегодно увеличивается в среднем на 10 % (рис. 4).



Рис. 4. Динамика количества лесных пожаров на территории Российской Федерации с 2016 по 2020 г.

Среди субъектов Российской Федерации по количеству лесных пожаров из года в год лидируют Республика Саха (Якутия), Красноярский край, а также Иркутская обл. Только за 2020 г. в этих трех субъектах суммарно произошло 4 370 лесных пожаров (2 061 – в Республике Саха (Якутия), 1 386 – в Красноярском крае и 923 – в Иркутской обл.), что составило 29,5 % от общего числа пожаров.

Ежегодно интенсивный рост количества пожаров в России приходится на летний период времени, достигая максимального значения в большинстве регионов в июне–июле, что в очередной раз подтверждает взаимосвязь температуры воздуха и лесных пожаров. В целом по стране пожароопасный период начинается в апреле и заканчивается в конце сентября.

В наибольшей степени природным пожарам подвержены лесные территории Сибирского и Дальневосточного Федеральных округов (СибФО и ДВФО). На рис. 5 отражена динамика изменения площади лесных пожаров в СибФО и ДВФО, а на рис. 6 – в республике Саха (Якутия), входящей в ДВФО. Диаграммы были построены на основе обобщения статистических данных, представленных на официальном сайте Единой межведомственной информационно-статистической системы Российской Федерации (URL: <https://www.fedstat.ru>).

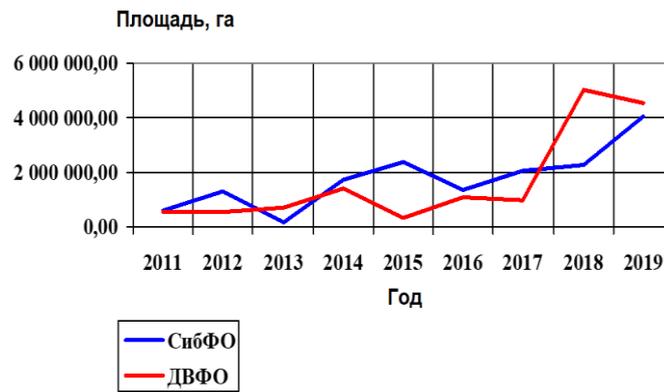


Рис. 5. Динамика изменения площади лесных пожаров в Сибирском и Дальневосточном Федеральных округах за период 2011–2019 гг.

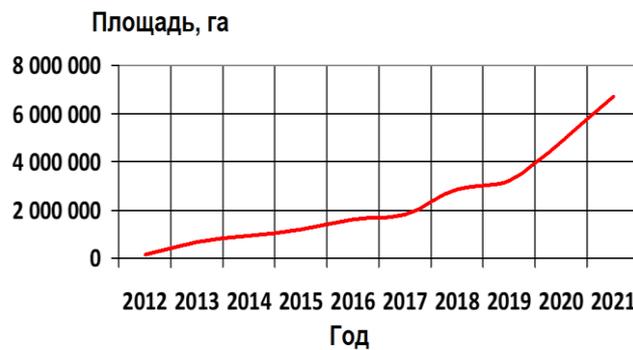


Рис. 6. Динамика изменения площади лесных пожаров в республике Саха (Якутия) за период 2012–2021 гг.

Анализ данных диаграмм свидетельствует о том, что площадь природных пожаров в период 2011–2019 гг. в Сибири в среднем увеличилась в 3 раза, на Дальнем Востоке – в 8,5 раз, а в Якутии в период с 2013 по 2021 г. – в 10 раз.

Заключение

Несмотря на предпринимаемые меры мировым сообществом по снижению антропогенного воздействия на климат, начиная с 1992 г., когда была принята рамочная конвенция ООН по изменению климата (ратифицирована в России Федеральным законом от 4 ноября 1994 г. № 34-ФЗ), проблема глобального потепления и его последствий занимает ведущее место в международной повестке, и на 26 Конференции ООН по изменению климата, прошедшей в Глазго с 31 октября 2021 г. по 12 ноября 2021 г., ей было уделено особое внимание.

Проведенный анализ отечественных и зарубежных научных публикаций, посвященных проблеме изменения климата, показал, что средняя глобальная температура увеличилась за последние 120 лет примерно на 1,09 °С, а в арктической и субарктической зонах температура повышается более чем в два раза быстрее, чем в среднем по миру.

Многие ученые отводят значимую роль в глобальном потеплении климата антропогенной деятельности, сопровождающейся увеличением выбросов парниковых газов. Концентрация углекислого газа увеличилась в 1,5 раза, концентрация метана – в 2,6 раз, концентрация закиси азота – в 1,2 раза относительно доиндустриальной эпохи (вторая половина XVIII в.). С 1970 по 2019 г. глобальные выбросы ПГ выросли более чем в 2 раза с 28 до 58 Гт; в выбросах ПГ доминирует топливный CO₂ (с 2010 г. ~ 66 %), доля CO₂, поступающего в атмосферу в результате природных пожаров, составляет около 10 % с 2010 г.

Увеличение частоты и масштабов опасных погодных условий вызывает высыхание и возгорание растительности, в том числе той, которая обычно не горит (например, тропических лесов, вечной мерзлоты). При продолжительном воздействии высокой температуры снижается долгосрочный рост деревьев, кустарников и т.д. Дополнительное вымирание растительности приводит к увеличению пожарной нагрузки в лесах, создавая благоприятные условия для новых очагов возгорания и распространения пожара.

Анализ данных о наиболее значимых природных пожарах в Австралии, Британской Колумбии (Канада) и на западе США свидетельствуют о многократном возрастании частоты и длительности пожароопасной погоды и, как следствие, увеличении количества, площади и длительности природных пожаров. Площадь природных пожаров за последние десятилетия увеличилась в среднем в 4–11 раз. В Австралии в 2019–2020 гг. 24,3–33,8 млн га территории были охвачены природными пожарами. Влияние антропогенного изменения климата на природные пожары оценивается в 30–45 %.

На территории Российской Федерации наиболее заметные аномалии температуры воздуха проявляются в Западной и Восточной Сибири: в 2020 г. среднегодовая температура воздуха здесь была выше нормы соответственно на 5,9 и 4,7 °С. Аномальные погодные условия спровоцировали в 2020 г. природные пожары в Заполярье. В наибольшей степени природным пожарам подвержены лесные территории Сибирского и Дальневосточного Федеральных округов. Анализ официальных статистических данных свидетельствует о том, что площадь природных пожаров за последние 10 лет в Сибири в целом увеличилась в три раза. В среднем по стране число природных пожаров увеличивалось ежегодно на 10 % в год.

Результаты проведенного критического анализа на примере Российской Федерации и ряда зарубежных стран подтверждает взаимное влияние погодно-климатических условий и природных пожаров. При сохраняющихся тенденциях правомерно ожидать его усиления, а это, в свою очередь, требует совершенствования методов и технологий в области управления лесным хозяйством, пожарной безопасностью и общественным здравоохранением.

Список источников

1. Spreading like Wildfire – The Rising Threat of Extraordinary Landscape Fires. A UNEP Rapid Response Assessment // United nations environment program. Nairobi, 2022. 126 p.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 61 с.
3. Акселевич В.И., Мазуров Г.И. Изменение климата, природные пожары и выявление ресурсных облаков для борьбы с ними: Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ: сб. тезисов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Российского гос. гидрометеорологического ун-та, 2020. С. 456–457.
4. Differential neural network approach in information process for prediction of roadside air pollution by peat fire / V. Lozhkin [et al.] // IOP Conference Series: materials science and engineering, 2016. Vol. 158. № 1. P. 1–7.
5. Neural network approach in information process for predicting highway area air pollution by peat fire / A. Vasilyev [et al.] // Modern information technologies and IT-Education: selected papers of the XI International scientific-practical conference. CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org). 2016. Vol. 1761. P. 386–392.
6. Physical and mathematical modeling of pollutant emissions when burning peat / A. Vasilyev [et al.] // IOP Conf. Series: Journal of Physics: conf. series. 2017.
7. Prolonged Siberian heat of 2020 / A. Ciavarella [et al.] // World Weather Attribution. 2020. 35 p.
8. Климатический хаос. Чем грозит человечеству потепление и что делать для предотвращения катастрофы // Специальный проект ТАСС. URL:https://tass.ru/spec/climate?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru (дата обращения: 24.09.2022).

9. Температуру плюс 38 градусов в Верхоянске признали рекордной для Арктики. URL: <https://tass.ru/obschestvo/1319213> (дата обращения: 24.09.2022).
10. Ложкина О.В., Коробейникова Е.Г., Ложкин В.Н. Экологическая химия: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 208 с.
11. Attribution of the Australian bushfire risk to anthropogenic climate change / G.J. van Oldenborgh [et al.] // *Natural Hazards and Earth Systems Science*. 2021. Vol. 21. P. 941–960.
12. Rodhe H., Charlson R., Crawford E. Svante arrhenius and the greenhouse effect // *Ambio*. 1997. Vol. 26. № 1. P. 2–5.
13. Anderson Th.R., Hawkins Ed, Jones P.D. CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of arrhenius and callendar to today's earth system models // *Endeavour*. 2016. Vol. 40. Iss. 3. P. 178–187.
14. Attribution of the influence of human-Induced climate change on an extreme fire season / M.C. Kirchmeier-Young [et al.] // *Earth's Future*. 2019. Vol. 7. P. 2–10.
15. Higuera P.E., Abatzoglou J.T. Record-setting climate enabled the extraordinary 2020 fire season in the western United States // *Glob Change Biology*. 2021. Vol. 27. P. 1–2. DOI: 10.1111/gcb.15388.
16. Abatzoglou J.T., Williams A.P. Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests // *PNAS*. 2016. Vol. 113 (42). P. 11770–11775.
17. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. М., 2021. 104 с.
18. Щеглова Е.Г. О влиянии погодных условий на пожары природных объектов // *Вестник ОГУ*. 2013. № 1 (150). С. 166–170.
19. Фуряев В.В., Заблоцкий В.И. Проблема повышения пожароустойчивости ленточных боров Алтая // *Антропогенное воздействие на лесные экосистемы*. Барнаул, 2002. С. 76–79.
20. Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б. Оценка опасности лесных пожаров на территории России при потеплении климата в XXI веке // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. Вып. 178. 2014. С. 135–146.

References

1. Spreading like Wildfire – The Rising Threat of Extraordinary Landscape Fires. A UNEP Rapid Response Assessment // *United nations environment program*. Nairobi, 2022. 126 p.
2. Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. М.: Rosgidromet, 2014. 61 s.
3. Akselevich V.I., Mazurov G.I. Izmenenie klimata, prirodnye pozhary i vyyavlenie resursnyh oblakov dlya bor'by s nimi: Sovremennye problemy gidrometeorologii i monitoringa okruzhayushchej sredy na prostranstve SNG: sb. tezisov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 90-letiyu Rossijskogo gos. gidrometeorologicheskogo un-ta, 2020. S. 456–457.
4. Differential neural network approach in information process for prediction of roadside air pollution by peat fire / V. Lozhkin [et al.] // *IOP Conference Series: materials science and engineering*, 2016. Vol. 158. № 1. P. 1–7.
5. Neural network approach in information process for predicting highway area air pollution by peat fire / A. Vasilyev [et al.] // *Modern information technologies and IT-Education: selected papers of the XI International scientific-practical conference*. CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org). 2016. Vol. 1761. P. 386–392.
6. Physical and mathematical modeling of pollutant emissions when burning peat / A. Vasilyev [et al.] // *IOP Conf. Series: Journal of Physics: conf. series*. 2017.
7. Prolonged Siberian heat of 2020 / A. Ciavarella [et al.] // *World Weather Attribution*. 2020. 35 p.
8. Klimaticheskij haos. Chem grozit chelovechestvu poteplenie, i chto delat' dlya predotvrashcheniya katastrofy // *Special'nyj proekt TASS*. URL: https://tass.ru/spec/climate?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru (data obrashcheniya: 24.09.2022).

9. Temperaturu plus 38 gradusov v Verhoyanske priznali rekordnoj dlya Arktiki. URL: <https://tass.ru/obschestvo/1319213> (data obrashcheniya: 24.09.2022).
10. Lozhkina O.V., Korobejnikova E.G., Lozhkin V.N. *Ekologicheskaya himiya: ucheb. posobie*. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2019. 208 s.
11. Attribution of the Australian bushfire risk to anthropogenic climate change / G.J. van Oldenborgh [et al.] // *Natural Hazards and Earth Systems Science*. 2021. Vol. 21. P. 941–960.
12. Rodhe H., Charlson R., Crawford E. Svante arrhenius and the greenhouse effect // *Ambio*. 1997. Vol. 26. № 1. P. 2–5.
13. Anderson Th.R., Hawkins Ed, Jones P.D. CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of arrhenius and callendar to today's earth system models // *Endeavour*. 2016. Vol. 40. Iss. 3. P. 178–187.
14. Attribution of the influence of human-Induced climate change on an extreme fire season / M.C. Kirchmeier-Young [et al.] // *Earth's Future*. 2019. Vol. 7. P. 2–10.
15. Higuera P.E., Abatzoglou J.T. Record-setting climate enabled the extraordinary 2020 fire season in the western United States // *Glob Change Biology*. 2021. Vol. 27. P. 1–2. DOI: 10.1111/gcb.15388.
16. Abatzoglou J.T., Williams A.P. Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests // *PNAS*. 2016. Vol. 113 (42). P. 11770–11775.
17. Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2020 god. M., 2021. 104 s.
18. Shcheglova E.G. O vliyaniy pogodnyh usloviy na pozhary prirodnyh ob"ektov // *Vestnik OGU*. 2013. № 1 (150). S. 166–170.
19. Furyaev V.V., Zablockiy V.I. Problema povysheniya pozharoustoichivosti lentochnyh borov Altaya // *Antropogennoe vozdejstvie na lesnye ekosistemy*. Barnaul, 2002. S. 76–79.
20. Sherstyukov B.G., Sherstyukov A.B. Ocenka opasnosti lesnyh pozharov na territorii Rossii pri potepnenii klimata v XXI veke // *Trudy VNIIGMI-MCD*. Vyp. 178. 2014. S. 135–146.

Информация об авторах:

Ложкина Ольга Владимировна, профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, кандидат химических наук, профессор, e-mail: olojkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>

Орловцев Сергей Викторович, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: osv-01@yandex.ru

Савинов Александр Геннадьевич, научный сотрудник института государственной службы и управления РАНХиГС (119606, Москва, пр. Вернадского, д. 84), e-mail: a.savinov@mail.ru

Information about the authors:

Lozhkina Olga V., professor of the department of chemistry and combustion processes of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, candidate of chemical sciences, professor, e-mail: olojkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>

Orlovtssev Sergey V., adjunct of the faculty of training of highly qualified personnel of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149)

Savinov Alexander G., scientific consultant of institute of public administration and civil service of Russian academy of national economy and public administration (119606, Moscow, pr. Vernadskogo, 84), e-mail: a.savinov@mail.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 18.11.2022; одобрена после рецензирования: 22.11.2021; принята к публикации: 25.11.2022.

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 18.11.2022; approved after review: 22.11.2022; accepted for publication: 25.11.2022.

Научная статья

УДК 614.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ ДЛЯ ЗДАНИЙ ДОШКОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

✉ **Вытовтов Алексей Владимирович;**

Калач Андрей Владимирович.

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия.

Баранов Алексей Александрович.

АОУ ВО «ОЦ Кадетская Школа «Корабелы Прионежья», Санкт-Петербург, Россия

✉ *taft.RVK@yandex.ru*

Аннотация. Оценка безопасности людей при пожаре на объектах дошкольных учреждений требует учета особенностей находящегося в зданиях контингента и условий, обеспечивающих процесс эвакуации в зависимости от планировочных решений. Работа акцентирует внимание на постоянно изменяющемся законодательстве, в том числе и в сфере пожарной безопасности. Исследован случай, когда для каждого из детских садов действуют различные требования пожарной безопасности в зависимости от времени сдачи проектной документации в экспертизу. В исследовании показано, каким образом влияют отступления от требований действующих нормативных документов на значение пожарных рисков в зданиях дошкольных учреждений. Предложен методологический подход оценки их влияния на время эвакуации и способ учета в расчете пожарного риска. Проведена апробация предложенной методики.

Ключевые слова: пожарный риск, эвакуация, модель, дошкольное учреждение

Для цитирования: Вытовтов А.В., Калач А.В., Баранов А.А. Совершенствование методов оценки пожарных рисков для зданий дошкольных образовательных организаций // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 122–131.

IMPROVEMENT OF FIRE RISK ASSESSMENT METHODS FOR BUILDINGS OF PRESCHOOL EDUCATIONAL ORGANIZATIONS

✉ **Vytovtov Alexey V.;**

Kalach Andrey V.

Voronezh state technical university, Voronezh, Russia.

Baranov Alexey A.

AEI VR «EC Cadet School «Shipbuilders of Prionezhye», Saint-Petersburg, Russia

✉ *taft.RVK@yandex.ru*

Abstract. Assessing the safety of people in case of fire at the facilities of preschool institutions requires taking into account the characteristics of the contingent in the buildings and the conditions that ensure the evacuation process, depending on planning decisions. The work focuses on constantly changing legislation, including in the field of fire safety. The case was studied when for each of the kindergartens different fire safety requirements act, depending on the time of delivery of project documentation for examination. The study shows how deviations from the requirements of the current regulatory documents affect the value of fire risks in the buildings of preschool institutions. A calculation method is proposed for determining the coefficient of compliance of evacuation routes

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

with the requirements of regulatory documents. The substantiation of numerical values and approbation of the proposed technique were carried out.

Keywords: fire risk, evacuation, model, preschool

For citation: Vytovtov A.V., Kalach A.V., Baranov A.A. Improvement of fire risk assessment methods for buildings of preschool educational organizations // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 122–131.

Введение

Совершенствование методов оценки пожарных рисков основывается на способности математических моделей адекватно спрогнозировать развитие ситуации на пожаре. При этом процесс горения и действия людей при каждом пожаре различны, развиваются нелинейно и не могут быть детально предсказаны существующими расчетными моделями [1]. Утвержденная методика определения пожарного риска позволяет концептуально определить время блокирования опасными факторами пожара (ОФП) и время эвакуации. В расчетной методике обеспечение безопасности человека при пожаре основано на сравнении параметров времени эвакуации и времени блокирования ОФП. Получаемые значения не абсолютны, но за счет допущений и коэффициента безопасности позволяют с уверенностью говорить об успешной эвакуации [2]. Остальные параметры системы обеспечения пожарной безопасности выражены в виде коэффициентов, влияющих на значение риска. Моделирование эвакуации в зданиях дошкольных образовательных организаций является сложной задачей в связи с наличием детей. Исследование данного процесса является актуальной задачей, что отмечается в работах большого числа авторов как в России [3–5], так и за рубежом [6, 7].

Коллектив авторов из Государственного исследовательского университета в Малайзии [8] проанализировал особенности принятия решений при эвакуации на основе экспериментальных данных. Предложена новая концептуальная модель, а именно PRiF (психологическая реакция на пожар), которая позволяет использовать подход нечеткой логики выбора пути эвакуации. Также взаимосвязи причин пожаров и физиологического состояния людей на объекте защиты исследовали в Имперском колледже Лондона [9]. Вместе с влиянием объемно-планировочных решений работа акцентирует внимание на физиологическом состоянии сна у воспитанников во время объявления эвакуации [10]. Данное явление особо актуально для дошкольных учреждений в связи с наличием обязательного сна в течение дня.

Изученные работы показали высокую сложность моделирования процесса эвакуации в детских дошкольных учреждениях в связи с низкой способностью воспитанников принимать самостоятельные решения [11, 12]. Для надежной защиты от пожара нормы проектирования динамически развиваются, учитывая современные достижения науки и передовые технологические подходы [13]. Предлагаемый способ снижения пожарной опасности зданий дошкольных учреждений учитывает состояние зданий, спроектированных и построенных по устаревшим нормам. Цель работы – провести исследование и вывести устойчивые закономерности количества нарушений в области пожарной безопасности с временем эвакуации.

Методы исследования

В работе рассматриваются детские дошкольные учреждения и требования пожарной безопасности, предъявляемые к ним в Своде правил «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы» в действующей и предшествующей редакции. Действующие требования утверждены Приказом МЧС России от 19 марта 2020 г. № 194 «Об утверждении свода правил СП 1.13130 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути

и выходы». До вступления в силу действовал Приказ МЧС России от 25 марта 2009 г. № 171 «Об утверждении свода правил «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы», утверждавший СП 1.13130.2009. Проведенный анализ показал значительные изменения в требованиях, что послужило основой для прикладного сравнения на примере действующего детского сада.

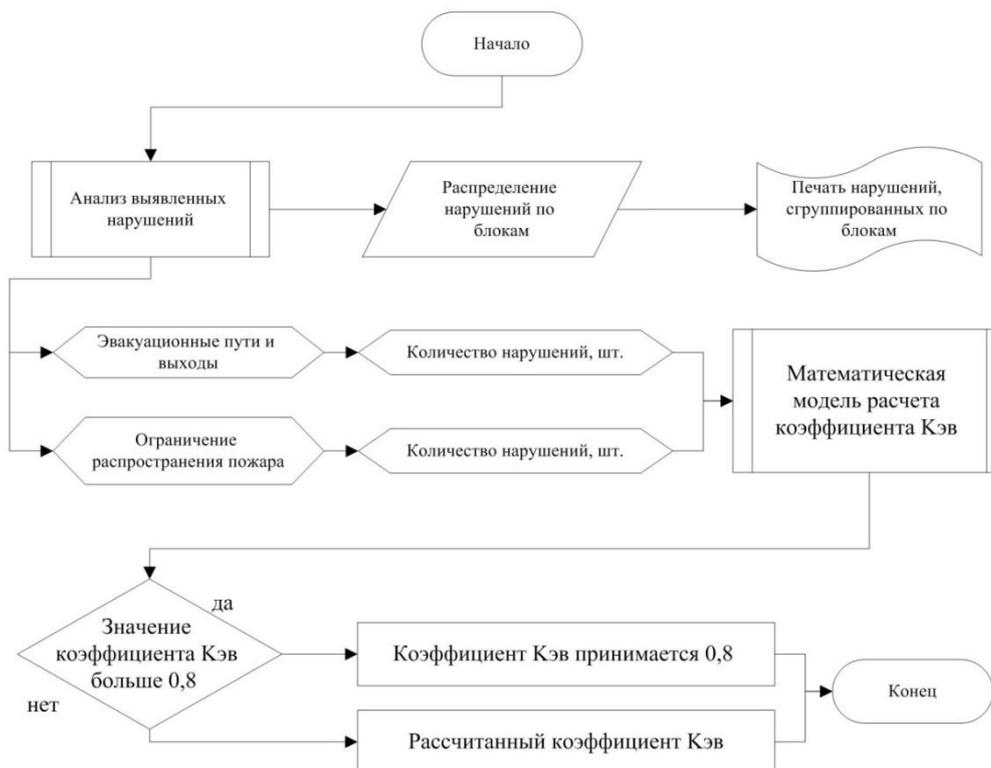
Динамичное развитие науки и технологий приводит к необходимости актуализировать нормативные требования в области пожарной безопасности, что успешно выполняется в отечественном законодательстве. Кроме новых технических разработок разработчики норм учитывают уровень социального развития общества и создание благоприятных условий для ведения коммерческой деятельности [14]. В соответствии с положениями ч. 4 ст. 4 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» объекты, в том числе детские дошкольные учреждения, могут функционировать по документам, действовавшим ранее, если они регламентируют более низкие требования, чем действующая редакция норм. Единновременно это приводит к тому, что при проведении проверок органами федерального государственного пожарного надзора к детским садам предъявляются различные требования в зависимости от года постройки. При этом ответственность за обеспечение пожарной безопасности перед гражданами едина.

Для проведения сравнительного анализа влияния актуальных требований пожарной безопасности на время эвакуации проведен численный эксперимент. Установлена корреляция между количеством нарушений и параметрами движения людских потоков. Для объектов класса функциональной пожарной опасности (КФПО) Ф1.1 в методике расчета пожарного риска расширен перечень коэффициентов, позволяющих комплексно оценить параметры здания. В исследовании предложен подход варьирования коэффициента ($K_{эв,i}$), учитывающего соответствие путей эвакуации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности. В существующих правилах при соответствии путей его значение составляет 0,8, при выявлении нарушений – 0. При выполнении действующих подходов, когда пути эвакуации в здании функционируют по ранее действовавшим нормам, не соответствующим современным, необходимо принимать значение коэффициента 0,8. В работе предложен алгоритм расчета данного коэффициента в интервале от 0 до 0,8 в зависимости от количества отступлений от современных требований.

В исследовании предложена математическая модель, позволяющая определять значение данного коэффициента в зависимости от количества нарушений действующих норм, которые не считаются нарушениями в связи с постройкой объекта по ранее действовавшим требованиям.

На рис. 1 представлен предлагаемый алгоритм определения коэффициента на основе выявленных нарушений.

Предложенный алгоритм содержит порядок использования разработанного метода, учитывающего отступления от актуальных норм. Предложенный подход варьирует коэффициент в методике расчета значений пожарных рисков [15]. Применить в практической деятельности к действующему объекту защиты такой подход могут специалисты, реализующие независимую оценку пожарного риска [16]. Действующие требования к аттестации данной категории лиц обязывают проводить обследование объекта защиты и позволяют определить количество отступлений от актуальных норм. Необходимо отметить, что расчет пожарных рисков не выполняет федеральный государственный пожарный надзор [17]. В рамках проверки при предъявлении расчета надзор проверяет только правильность исходных данных [18–20]. При дополнении методики предлагаемым алгоритмом у инспектора появляется обязанность проверить количество отступлений от современных требований.

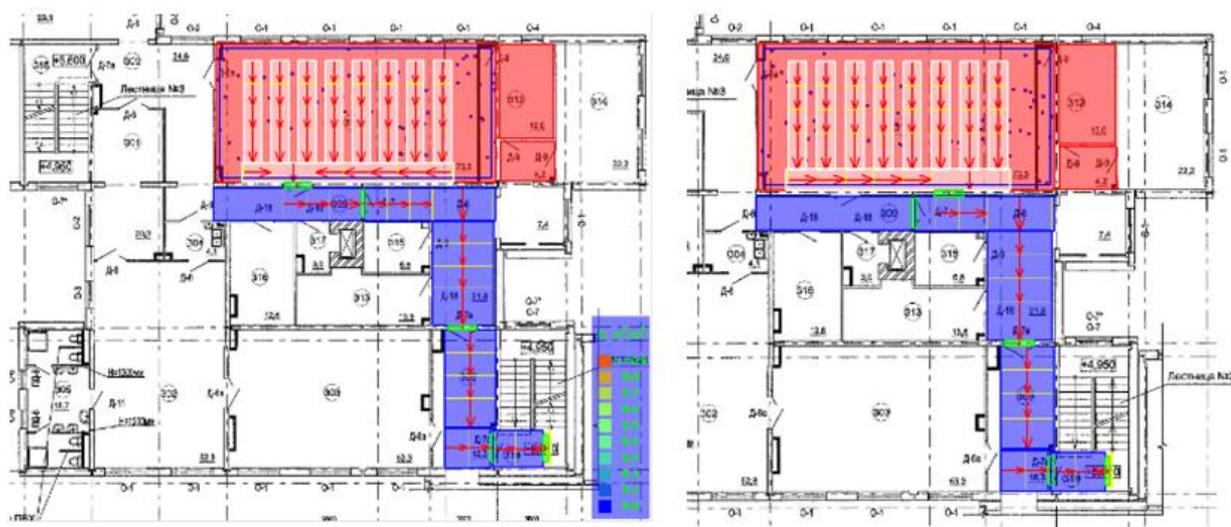
Рис. 1. Порядок определения коэффициента $K_{эв}$.

Результаты исследования и их обсуждение

Для апробации предложенного подхода и установления математической зависимости численных значений коэффициента было проанализировано здание дошкольной образовательной организации, построенное в 2016 г. Тестовые числовые эксперименты показали, что существуют различия во влиянии типа нарушений на время эвакуации. Это привело к формированию в математической модели двух групп нарушений: эвакуационные пути и выходы (N_1), ограничение распространения пожара (N_2). Аналогичный подход применяется в исследованиях авторов для других типов зданий [21–24].

Для обеспечения воспроизводимости экспериментальных данных проведено исследование четырех сценариев развития пожара. В каждом из опытов количество нарушений варьируется от 1 до 10. Полученные значения сравниваются с эталонным временем эвакуации без нарушений. В каждом факторном пространстве пять повторов. Для построения математической зависимости использована линейная регрессия, выведенная методом наименьших квадратов. Опишем один из сценариев, использованных для исследования влияния нарушений на время эвакуации.

Сценарий 1. Проведем эвакуацию из помещения с массовым пребыванием людей. В соответствии с методикой расчета пожарного риска один из выходов заблокирован. Схема представлена на рис. 2.



а) б)
 Рис. 2. Схема эвакуация из актового зала:
 а) с нарушениями требований; б) без нарушений

На рис. 2 а нарушено требование по сосредоточенности эвакуационных выходов из актового зала. Представим нормативное обоснование данного нарушения. Для определения рассредоточенности эвакуационных выходов из помещения необходимо использовать математическую зависимость, регламентированную п. 4.2.4 СП 1.13130.2009 и п. 4.2.16 СП 1.13130.2020. Методика определения в двух документах отличается. Для сравнения требований определены минимальные расстояния между выходами.

$$L \geq \frac{1,5\sqrt{P}}{n-1} = \frac{1,5\sqrt{(6+12)\times 2}}{3-1} = 4,5 \text{ м.} \quad (1)$$

$$L \geq \frac{D}{2} = \frac{13,8}{2} = 6,9 \text{ м.} \quad (2)$$

Расчет по методике СП 1.13130.2009 представлен в формуле (1), расчет по методике СП 1.13130.2020 – в формуле (2). Проанализировав два полученных числа, видно, что новый подход определения расстояния вводит более высокие требования к расстоянию между эвакуационными выходами. Для представленного объекта защиты фактическое расстояние между эвакуационными выходами, принятыми по проекту, составляет 5 м (рис. 2 а). Из представленных расчетов видно, что это не противоречит старым нормам. Для определения влияния отступлений от норм пожарной безопасности выполним расчет времени эвакуации. Рассчитаем коэффициент влияния нарушения требований пожарной безопасности на процесс эвакуации (рис. 2 а). В соответствии с методикой, разработанной в исследовании, для получения коэффициента разделим результат «время без нарушений» на «время с нарушениями». Для сценария время эвакуации без нарушений составило 0,79 мин, с нарушениями – 0,88 мин. Численное выражение составляет 0,897, в опыте и методике это безразмерный коэффициент. Данное значение будет внесено в итоговую таблицу регрессионного анализа. Отличие коэффициента от 0 и его уменьшение относительно 1 свидетельствует о справедливости гипотезы.

Результаты эксперимента представлены для всех повторов в таблице. Их количество составило пять раз в каждом факторном пространстве, что обеспечивает повторяемость и уменьшает погрешность в исследовании. Полученный отклик позволяет исследовать влияние факторов на время эвакуации.

Таблица. Результаты проведенного лабораторного эксперимента

№	План			Данные		Результаты, время выхода τ ; повторы				
	$K_{эв1}$	G_1	N_1	Группа 1	п шт.	1	2	3	4	5
1	+1	-1	-1	1	1	0,897	0,92	0,89	0,91	0,93
2	+1	-1	+1	1	10	0,36	0,31	0,39	0,35	0,38
	$K_{эв2}$	G_2	N_2	Группа 2	п шт.					
3	+1	+1	-1	2	1	1	0,99	0,98	1	0,97
4	+1	+1	+1	2	10	0,86	0,86	0,87	0,88	0,80

Для рассматриваемых сценариев полученная зависимость имеет вид:

$$K_{эв} = 0,8 \times (0,944 - 0,03867 \times N_1) \times (1,0017778 - 0,0137778 \times N_2). \quad (3)$$

Математическое выражение (3) может давать значения регрессионных выбросов, выходящих за рамки нормативных коэффициентов. Для предотвращения нарушения методики в алгоритме (рис. 1) предусмотрено логическое условие, фиксирующее значение коэффициента в интервале от 0 до 0,8.

Для проверки разработанной математической модели рассчитаем коэффициент $K_{эв,i}$ (сценарий пожара в пищеблоке дошкольной образовательной организации). Исследуемый коэффициент определен по формуле (3), предложенной в настоящем исследовании. В качестве переменной N_1 выступит количество нарушений в путях эвакуации, равное 3. В качестве переменной N_2 выступит количество нарушений в области ограничения распространения пожара на объектах защиты, равное 4.

$$K_{эв} = 0,8 \times (0,944 - 0,03867 \times 3) \times (1,0017778 - 0,0137778 \times 4) = 0,6270643.$$

Значение коэффициента располагается в интервале от 0 до 0,8, граничные условия соблюдены. Предлагаемый подход позволяет учесть отступления от действующих норм и численно выразить коэффициент $K_{эв,i}$, что соразмерно увеличит расчетные значения пожарного риска.

Заключение

При выполнении контрольно-надзорных мероприятий федеральным государственным пожарным надзором и организацией, проводящей независимую оценку пожарного риска, отсутствует возможность применить новые подходы и требования к объектам защиты, построенным ранее. Предложенный способ позволяет учесть при расчете значений пожарного риска отступления от актуальных норм. Представления нарушений в виде коэффициентов методики позволят оценить влияние устаревших требований на расчетное значение пожарного риска. В случае превышения нормативных значений предложенный подход позволяет выбрать требования, оказывающие большее влияние, и выполнить их по актуальным правилам.

Предложенный способ является теоретическим изысканием и не утвержден методикой расчета пожарного риска. Выбор и обоснование коэффициентов выполнен на одном объекте защиты, показывает математическую закономерность, но не может быть расширен на весь КФПО Ф1.1. Цель работы по установлению корреляционной зависимости между количеством нарушений в области пожарной безопасности, временем эвакуации и значением пожарного риска достигнута.

Список источников

1. Тимофеев В.Д. Актуальность исследований уровня осведомленности студентов, проживающих в общежитии, о пожарной безопасности // *Пожаровзрывобезопасность*. 2020. Т. 29. № 1. С. 69–77.
2. Исследование особенностей процесса эвакуации для объектов культурного наследия / Т.Ю. Еремина [и др.] // *Пожаровзрывобезопасность*. 2019. Т. 28. № 1. С. 54–66. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.54-66.
3. Панов А.А., Журавлев С.Ю., Журавлев Ю.Ю. Независимая оценка риска и исходные данные для расчета пожарного риска в общественных зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности // *Пожаровзрывобезопасность*. 2019. Т. 28. № 5. С. 9–18. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.9-18.
4. Новые средства обеспечения эвакуации в общественных зданиях с массовым пребыванием людей / В.Д. Захматов [и др.] // *Пожаровзрывобезопасность*. 2018. Т. 27. № 5. С. 61–69. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.61-69.
5. Мироньчев А.В., Турсенев С.А. Методы технического регулирования пожарной безопасности объектов капитального строительства // *Пожарная безопасность общественных и жилых зданий. Нормативы, проектирование, устройство и эксплуатация: материалы науч.-техн. конф.* 2018. С. 5–8.
6. Study of children evacuation from pre-school education institutions / V.V. Kholshchevnikov [et al.] // *Fire and materials*. 2012. Vol. 36. № 5–6. P. 349–366.
7. Kodur V.K.R., Venkatachari S., Naser M.Z. Egress parameters influencing emergency evacuation in high-rise buildings // *Fire technol.* 2020. № 56. P. 2035–2057. DOI: 10.1007/s10694-020-00965-3.
8. Psychological response in fire: a fuzzy bayesian network approach using expert judgment / N. Ramli [et al.] // *Fire technol.* 2021. № 57. P. 2305–2338. DOI: 10.1007/s10694-021-01106-0.
9. Kountouris Y. An assessment of the relationship between daylight saving time, disruptions in sleep patterns and dwelling fires // *Fire technol.* 2021. № 57. P. 123–144. DOI: 10.1007/s10694-020-00983-1.
10. An evacuation model validation data-set for high-rise construction sites / S. Deere [et al.] // *Fire Safety Journal*. 2021. Т. 120. P. 103118.
11. Ronchi E. Developing and validating evacuation models for fire safety engineering // *Fire safety journal*. 2021. Т. 120. P. 103020. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103020.
12. The variation of pre-movement time in building evacuation / M. Forssberg [et al.] // *Fire technol.* 2019. № 55. P. 2491–2513.
13. Минкин Д.Ю., Мироньчев А.В., Кондрашин А.В. Перспективы развития технического регулирования противодымной защиты зданий // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2015. № 3 (35). С. 23–28.
14. Monitoring of technogenic destructions of oil and gas facilities using 3D laser scanning / О.А. Gubanova [et al.] // *International journal of engineering and technology*. 2018. Т. 7. № 4. P. 210–212.
15. Bode N.W.F., Codling E.A. Exploring determinants of pre-movement delays in a virtual crowd evacuation experiment // *Fire technol.* 2019. № 55. P. 595–615.
16. Прогнозирование основных показателей пожаровзрывоопасности органических соединений с помощью дескрипторов и искусственных нейронных сетей, используемых в расчете пожарного риска / Д.С. Королев [и др.] // *Пожаровзрывобезопасность*. 2015. Т. 24. № 9. С. 32–38.
17. Лоскутов Н.В., Мироньчев А.В., Чижков А.Г. Осуществление государственного контроля за системами пожарной сигнализации в условиях применения механизма «регуляторной гильотины» // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2021. № 1 (57). С. 59–68.

18. Лоскутов Н.В., Мироньчев А.В. Создание систем пожарной сигнализации в современных условиях технического регулирования // Пожарная безопасность объектов капитального строительства. Нормативы, проектирование, устройство и эксплуатация: материалы науч.-техн. конф. СПб., 2021. С. 102–106.
19. Мироньчев А.В., Турсенев С.А. Ранжирование требований технического регулирования пожарной безопасности // Пожарная безопасность объектов капитального строительства. Нормативы, проектирование, устройство и эксплуатация: материалы науч.-техн. конф. СПб., 2021. С. 5–8.
20. Gilbert S.W. Estimating smoke alarm effectiveness in homes // *Fire technol.* 2021. № 57. P. 1497–1516. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01072-z>.
21. Chu M.L., Law K.H. Incorporating individual behavior, knowledge, and roles in simulating evacuation // *Fire technol.* 2019. № 55. P. 437–464.
22. Hamilton G.N., Lennon P.F., O'Raw J. Toward fire safe schools: analysis of modelling speed and specific flow of children during evacuation drills // *Fire technol.* 2020. № 56. P. 605–638. DOI: [10.1007/s10694-019-00893-x](https://doi.org/10.1007/s10694-019-00893-x).
23. Simulating movement devices used in hospital evacuation / A.L.E. Hunt [et al.] // *Fire technol.* № 56. P. 2209–2240 (2020). DOI: [10.1007/s10694-020-00971-5](https://doi.org/10.1007/s10694-020-00971-5).
24. Krasuski, A., Krenski, K. A-Evac: The evacuation simulator for stochastic environment. *Fire technol.* 2019. № 55. P. 1707–1732. DOI: [10.1007/s10694-019-00827-7](https://doi.org/10.1007/s10694-019-00827-7).
25. A Multi-Grid evacuation model considering the threat of fire to human life and its application to building fire risk assessment / F. Zhiming [et al.] // *Fire technol.* 2019. № 55. P. 2005–2026. DOI: [10.1007/s10694-019-00840-w](https://doi.org/10.1007/s10694-019-00840-w).

References

1. Timofeev V.D. Aktual'nost' issledovaniy urovnya osvedomlennosti studentov, prozhivayushchih v obshchezhitii, o pozharnoj bezopasnosti // *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2020. T. 29. № 1. S. 69–77.
2. Issledovanie osobennostej processa evakuacii dlya ob"ektov kul'turnogo naslediya / T.Yu. Eremina [i dr.] // *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2019. T. 28. № 1. S. 54–66. DOI: [10.18322/PVB.2019.28.01.54-66](https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.01.54-66).
3. Panov A.A., Zhuravlev S.Yu., Zhuravlev Yu.Yu. Nezavisimaya ocenka riska i iskhodnye dannye dlya rascheta pozharnogo riska v obshchestvennyh zdaniyah, sooruzheniyah i pozharnyh otsekah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti // *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2019. T. 28. № 5. S. 9–18. DOI: [10.18322/PVB.2019.28.05.9-18](https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.05.9-18).
4. Novye sredstva obespecheniya evakuacii v obshchestvennyh zdaniyah s massovym prebyvaniem lyudej / V.D. Zahmatov [i dr.] // *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2018. T. 27. № 5. S. 61–69. DOI: [10.18322/PVB.2018.27.05.61-69](https://doi.org/10.18322/PVB.2018.27.05.61-69).
5. Miron'chev A.V., Tursenev S.A. Metody tekhnicheskogo regulirovaniya pozharnoj bezopasnosti ob"ektov kapital'nogo stroitel'stva // *Pozharnaya bezopasnost' obshchestvennyh i zhilyh zdaniy. Normativy, proektirovanie, ustrojstvo i ekspluatatsiya: materialy nauch.-tekhn. konf.* 2018. S. 5–8.
6. Study of children evacuation from pre-school education institutions / V.V. Kholshchevnikov [et al.] // *Fire and Materials*. 2012. Vol. 36. № 5–6. P. 349–366.
7. Kodur V.K.R., Venkatachari S., Naser M.Z. Egress parameters influencing emergency evacuation in high-rise buildings // *Fire technol.* 2020. № 56. P. 2035–2057. DOI: [10.1007/s10694-020-00965-3](https://doi.org/10.1007/s10694-020-00965-3).
8. Psychological response in fire: a fuzzy bayesian network approach using expert judgment / N. Ramli [et al.] // *Fire technol.* 2021. № 57. P. 2305–2338. DOI: [10.1007/s10694-021-01106-0](https://doi.org/10.1007/s10694-021-01106-0).
9. Kountouris Y. An assessment of the relationship between daylight saving time, disruptions in sleep patterns and dwelling fires // *Fire technol.* 2021. № 57. P. 123–144. DOI: [10.1007/s10694-020-00983-1](https://doi.org/10.1007/s10694-020-00983-1).

10. An evacuation model validation data-set for high-rise construction sites / S. Deere [et al.] // *Fire Safety Journal*. 2021. T. 120. P. 103118.
11. Ronchi E. Developing and validating evacuation models for fire safety engineering // *Fire safety journal*. 2021. T. 120. P. 103020. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103020.
12. The variation of pre-movement time in building evacuation / M. Forssberg [et al.] // *Fire technol.* 2019. № 55. P. 2491–2513.
13. Minkin D.Yu., Miron'chev A.V., Kondrashin A.V. Perspektivy razvitiya tekhnicheskogo regulirovaniya protivodymnoj zashchity zdaniy // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2015. № 3 (35). S. 23–28.
14. Monitoring of technogenic destructions of oil and gas facilities using 3D laser scanning / O.A. Gubanova [et al.] // *International journal of engineering and technology*. 2018. T. 7. № 4. P. 210–212.
15. Bode N.W.F., Codling E.A. Exploring determinants of pre-movement delays in a virtual crowd evacuation experiment // *Fire technol.* 2019. № 55. P. 595–615.
16. Prognozirovanie osnovnykh pokazatelej pozharovzryvoopasnosti organicheskikh soedinenij s pomoshch'yu deskriptorov i iskusstvennykh nejronnykh setej, ispol'zuemykh v raschete pozhnogo riska / D.S. Korolev [i dr.] // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2015. T. 24. № 9. S. 32–38.
17. Loskutov N.V., Miron'chev A.V., Chizhkov A.G. Osushchestvlenie gosudarstvennogo kontrolya za sistemami pozharnej signalizacii v usloviyah primeneniya mekhanizma «regulyatornoj gil'otiny» // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2021. № 1 (57). S. 59–68.
18. Loskutov N.V., Miron'chev A.V. Sozdanie sistem pozharnej signalizacii v sovremennykh usloviyah tekhnicheskogo regulirovaniya // *Pozhnaya bezopasnost' ob"ektov kapital'nogo stroitel'stva. Normativy, proektirovanie, ustrojstvo i ekspluatsiya: materialy nauch.-tekhn. konf. SPb.*, 2021. S. 102–106.
19. Miron'chev A.V., Tursenev S.A. Ranzhirovanie trebovanij tekhnicheskogo regulirovaniya pozharnej bezopasnosti // *Pozhnaya bezopasnost' ob"ektov kapital'nogo stroitel'stva. Normativy, proektirovanie, ustrojstvo i ekspluatsiya: materialy nauch.-tekhn. konf. SPb.*, 2021. S. 5–8.
20. Gilbert S.W. Estimating smoke alarm effectiveness in homes // *Fire technol.* 2021. № 57. P. 1497–1516. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01072-z>.
21. Chu M.L., Law K.H. Incorporating individual behavior, knowledge, and roles in simulating evacuation // *Fire technol.* 2019. № 55. P. 437–464.
22. Hamilton G.N., Lennon P.F., O'Raw J. Toward fire safe schools: analysis of modelling speed and specific flow of children during evacuation drills // *Fire technol.* 2020. № 56. P. 605–638. DOI: 10.1007/s10694-019-00893-x.
23. Simulating movement devices used in hospital evacuation / A.L.E. Hunt [et al.] // *Fire technol.* № 56. P. 2209–2240 (2020). DOI: 10.1007/s10694-020-00971-5.
24. Krasuski, A., Krenski, K. A-Evac: The evacuation simulator for stochastic environment. *Fire technol.* 2019. № 55. P. 1707–1732. DOI: 10.1007/s10694-019-00827-7.
25. A Multi-Grid evacuation model considering the threat of fire to human life and its application to building fire risk assessment / F. Zhiming [et al.] // *Fire technol.* 2019. № 55. P. 2005–2026. DOI: 10.1007/s10694-019-00840-w.

Информация об авторах:

Выговтов Алексей Владимирович, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84), кандидат технических наук, e-mail: taft.RVK@yandex.ru, Author ID 57219485683

Калач Андрей Владимирович, начальник кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну Воронежского института ФСИН России (394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1а), доктор химических наук, профессор, почетный работник сферы образования Российской Федерации, e-mail: a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, Author ID 57201667604

Баранов Алексей Александрович, заместитель директора по профильной подготовке АОУ ВО «ОЦ Кадетская Школа «Корабелы Прионежья» им. Героя России Ю.Л. Воробьева (162924, Россия, Вологодская обл., Вытегорский р-н, дер. Щекино, д. 14), кандидат педагогических наук, e-mail: baranov.a.a@mail.ru, AuthorID: 977341

Information about the authors:

Vytovtov Alexey V., associate professor of the department of technosphere and fire safety Voronezh state technical university (Voronezh, ul. 20-letiya Oktyabrya, 84), candidate of technical sciences, e-mail: taft.RVK@yandex.ru, Author ID 57219485683

Kalach Andrey V., head of the department of information security and protection of information constituting a state secret of the Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia (394072, Voronezh, Irkutsk str., 1a), doctor of chemical sciences, professor, honorary worker of education of the Russian Federation, e-mail: a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, Author ID 57201667604

Baranov Alexey A., deputy director for profile training of the AEI VR «EC Cadet School «Shipbuilders of Prionezhye» named after the Hero of Russia Yu.L. Vorobyev (162924, Russia, Vologda region, Vytegorsky district, Shchekino village, 14), candidate of pedagogical sciences, e-mail: baranov.a.a@mail.ru, AuthorID: 977341

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 02.11.2022; одобрена после рецензирования: 21.11.2022; принята к публикации: 29.11.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 02.11.2022; approved after review: 21.11.2022; accepted for publication: 29.11.2022

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

Научная статья

УДК 614.8

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ ЕГО ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Баринов Михаил Федорович;

✉ **Мясников Денис Владимирович.**

**Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика,
Химки, Россия.**

Шидловский Александр Леонидович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ *myasnikovdenis@mail*

Аннотация. Рассмотрены конструктивные особенности образцов аварийно-спасательного инструмента, а также проведено исследование параметров, позволяющих вычислить раздвигающую, режущую и тянущую силу инструментов, что позволит осуществить обоснованный выбор инструментов, соответствующих характеру предстоящих работ, исходя из их реальных возможностей.

Ключевые слова: аварийно-спасательные работы, аварийно-спасательный инструмент, расчетная схема, силовая характеристика, усилие

Для цитирования: Баринов М.Ф., Мясников Д.В., Шидловский А.Л. К вопросу определения реальных возможностей аварийно-спасательного инструмента на основе его технических характеристик // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 132–138.

TO THE QUESTION OF IDENTIFYING REAL OPPORTUNITIES EMERGENCY RESCUE TOOL BASED ON ITS TECHNICAL CHARACTERISTICS

Barinov Mikhail F.;

✉ **Myasnikov Denis V.**

**Civil defence academy of EMERCOM of Russia named after lieutenant general D.I. Mikhailik,
Khimki, Russia.**

Shidlovsky Aleksandr L.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ *myasnikovdenis@mail*

Abstract. The article considers the design features of emergency-rescue tool samples, as well as conducted a study of parameters that allow calculating the sliding, cutting and pulling force of tools, which will allow making a reasonable selection of tools corresponding to the nature of upcoming work, based on their real capabilities.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

Keywords: emergency rescue operations, emergency rescue tool, calculation scheme, power characteristic, force

For citation: Barinov M.F., Myasnikov D.V., Shidlovsky A.L. To the question of identifying real opportunities emergency rescue tool based on its technical characteristics // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 132–138.

Введение

При ведении аварийно-спасательных и других неотложных работ, прежде чем применить тот или иной инструмент, спасатель должен четко знать и учитывать его возможности. Такие инструменты, как гидравлические расширители, разжим-кусачки и кусачки из состава комплектов гидравлического аварийно-спасательного инструмента и гидравлические домкраты при изменении величины раскрытия челюстей или высоты подъема изменяют создаваемое ими усилие [1].

В технических характеристиках этого инструмента указывается максимальное создаваемое усилие или в лучшем случае максимальная и минимальная его величины без указания характера его изменения по мере увеличения угла раскрытия челюстей или высоты подъема [2, 3]. Для обоснованного выбора инструмента, соответствующего характеру предстоящих работ, необходимо знать его возможности, то есть силовые характеристики.

Актуальность проводимого исследования обусловлена трудностями в определении реальных возможностей аварийно-спасательного инструмента по выполнению различных работ на основе технических характеристик, указанных в эксплуатационной документации, и, как следствие, сложностью выбора необходимых образцов инструмента, адекватных предстоящим работам.

Методы исследования

Для решения задачи определения реальных возможностей аварийно-спасательного инструмента необходимо изучить конструктивные особенности образцов аварийно-спасательного инструмента, определить действующие в них силы и рассчитать схемы создаваемых инструментом усилий.

Очевидно, что для разных технологических операций схемы создаваемых инструментом усилий будут разные. Кроме того, отличия будут зависеть и от принципа действия инструмента. Для проведения аварийно-спасательных работ применяются, как правило, инструменты двух групп: инструменты с прямым воздействием поршня и штока на рабочий орган и инструменты с рычажно-шарнирной передачей усилия от поршня к рабочему органу. Типовые схемы создаваемых инструментом усилий для этих групп представлены на рис. 1, 2.

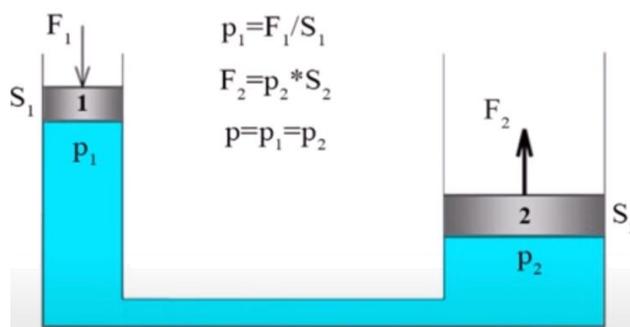


Рис. 1. Схема создаваемых усилий инструментов с прямым воздействием поршня и штока на рабочий орган: F_1 – сила воздействия на шток; F_2 – сила действия рабочего органа;

S_1 – площадь поршня; S_2 – площадь поверхности рабочего органа;

P_1, P_2 – давление гидравлической жидкости у штока и у рабочего органа соответственно

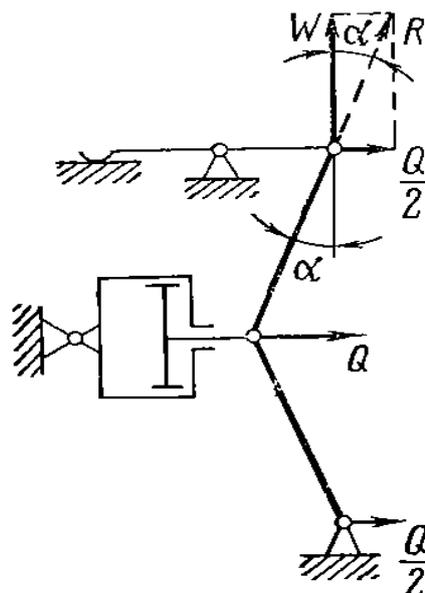


Рис. 2. Схема создаваемых усилий инструментов с рычажно-шарнирной передачей усилия от поршня к рабочему органу: W – сила зажима; Q – сила, приложенная к рычажно-шарнирному механизму; α – угол наклона; R – радиус ролика

При проведении исследования были использованы общенаучный метод (анализ материалов по теме исследования, обобщение, сравнение и систематизация эмпирических и теоретических данных), описательный метод.

Результаты исследования и их обсуждение

Под силовой характеристикой аварийно-спасательного инструмента понимается зависимость создаваемого инструментом усилия от количества поданного рабочего тела (рабочей жидкости для гидравлического инструмента), что пропорционально ходу штока силового цилиндра или высоте подъема гидравлического домкрата. В общем случае эту зависимость можно представить следующим образом:

$$P = f(H_{\text{п}}),$$

где P – создаваемое инструментом усилие; $H_{\text{п}}$ – величина перемещения штока или высота подъема груза гидравлическим домкратом.

Для ряда инструментов из состава комплектов гидравлического аварийно-спасательного инструмента (силовых цилиндров, тросорезов, некоторых видов кусачек, гидравлических домкратов) величина создаваемого усилия при подаче рабочего тела с постоянным давлением остается постоянной.

Для телескопических инструментов создаваемые усилия имеют ступенчатый характер, а для силовых цилиндров двойного действия при обратном ходе величина создаваемого усилия меньше за счет уменьшения площади поршня на величину площади штока.

По конструктивному исполнению гидравлический инструмент можно подразделить на две группы. К первой группе относятся инструменты с прямым воздействием поршня и штока на рабочий орган. В эту группу входят домкраты, силовые цилиндры, тросовый резак и некоторые виды кусачек. Ко второй группе принадлежат инструменты с рычажно-шарнирной передачей усилия от поршня к рабочему органу. К ним относятся расширители, челюстные ножницы (комбинированные ножницы) и кусачки [4].

Расчетная схема создаваемых усилий инструментами первой группы достаточно простая и определяется такими параметрами, как давление рабочей жидкости p_0 , площадью поршня $S_{\text{п}}$ и площадью штока $S_{\text{ш}}$. Причем последний параметр необходим для тех инструментов, где возвращение в исходное положение рабочего органа обеспечивается поступлением жидкости в штоковую полость. В остальных инструментах этой группы возвращение в исходное положение обеспечивается пружиной [5].

Обозначенные параметры позволяют вычислить раздвигающую, режущую (для тросового резака) ($P_{\text{р}}$) и тянущую ($P_{\text{т}}$) силу цилиндров:

$$P_{\text{р}} = p_0 \cdot S_{\text{п}};$$

$$P_{\text{т}} = p_0 \cdot (S_{\text{п}} - S_{\text{ш}}),$$

где p_0 – рабочее давление жидкости; $S_{\text{п}}$ – площадь поршня; $S_{\text{ш}}$ – площадь штока.

Значительно сложнее произвести расчет создаваемых усилий инструментами второй группы. Наличие в их конструкции кривошипно-шатунного механизма, преобразующего прямолинейное движение поршня во вращательное движение челюстей, увеличивает число исходных данных для расчета и делает необходимым рассматривать момент силы как основную исходную величину [6, 7]. Для расчета создаваемых усилий челюстными инструментами можно воспользоваться следующей схемой (рис. 1).

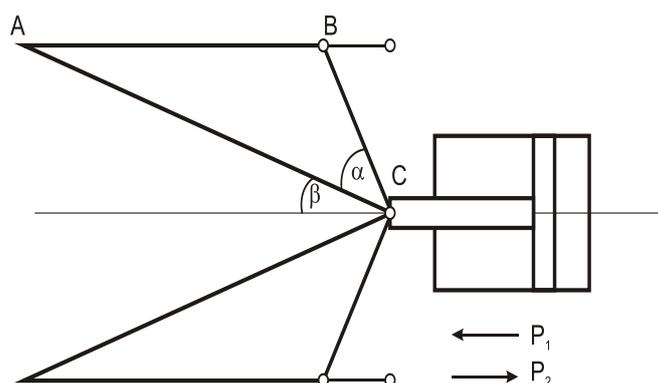


Рис. 1. Расчетная схема челюстных инструментов: BC – расстояние между осями; AC – длина челюстей; β – угол раскрытия челюстей; α – угол между внутренней кромкой челюсти и прямой, соединяющей оси B и C ; P_1 – сила действия штока на ось челюстей при раскрытии челюстей; P_2 – сила действия штока на ось при закрытии челюстей

Максимальные усилия на челюстях в случае раскрытия челюстей создаются при прямом ходе поршня. Сжатие челюстей осуществляется при обратном ходе поршня. При этом уменьшение площади поршня, на которую воздействует давление рабочей жидкости за счет исключения площади штока, снижает создаваемое усилие на челюстях [8].

Момент, создаваемый при раскрытии челюстей:

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot P_1 \cdot BC \cdot \sin(\alpha + \beta).$$

Момент, создаваемый при закрытии челюстей:

$$M_2 = \frac{1}{2} \cdot P_2 \cdot BC \cdot \sin(\alpha + \beta).$$

Усилие разжима на концах челюстей:

$$P_{A1} = \frac{M_1}{AC \cdot \cos \beta}.$$

Усилие сжатия на концах челюстей:

$$P_{A2} = \frac{M_2}{AC \cdot \cos \beta}.$$

Как видно из расчетов, все основные силовые параметры данной группы инструментов определяются моментом сил, действующим на рычаги, а также углом раскрытия челюстей β . Момент сил, действующих на челюсти, зависит от их конструктивного исполнения: он больше при увеличении расстояния между осями B и C и при угле α , равном 90° .

Силовые характеристики при раскрытии челюстей (рис. 2) имеют вид:

- кривая 1 – при изменении α в пределах от $\alpha < 90^\circ$ до $\alpha = 90^\circ$;
- кривая 2 – при изменении α в пределах от $\alpha = 90^\circ$ до $\alpha > 90^\circ$;
- кривая 3 – при изменении α в пределах от $\alpha < 90^\circ$ до $\alpha > 90^\circ$.

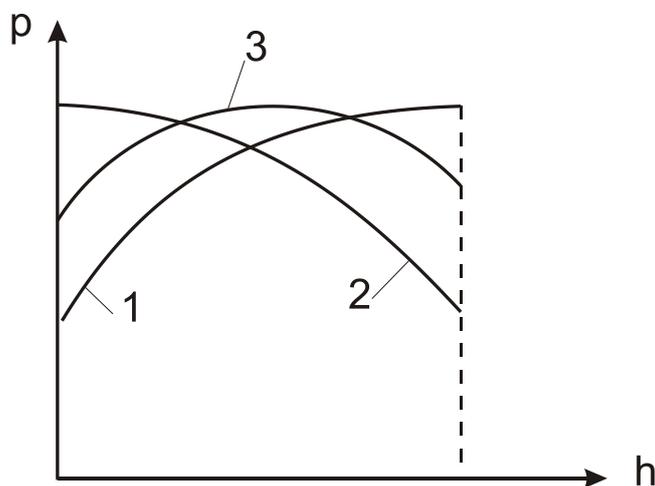


Рис. 2. Силовые характеристики расширителя: P – создаваемое усилие, h – ход штока

Изменяя в конструкции инструмента значение угла α , можно задавать максимальное усилие на губках при различных углах раскрытия. У расширителей усилие увеличивается с раскрытием губок и достигает максимума на последнем этапе раскрытия (кривая 1) или вблизи его (кривая 3), возможны и любые промежуточные значения. Для кусачек и комбинированных ножниц максимальные усилия оптимальны в близких к сомкнутому положению челюстей (кривая 2). Поэтому при использовании расширителей спасателю необходимо знать характер изменения создаваемого расширителями усилия или применять расширители с завышенными создаваемыми усилиями [9, 10].

Заключение

Таким образом, реальные возможности аварийно-спасательного инструмента зависят не только от его технических характеристик, указанных в эксплуатационной документации, но и от его конструктивных особенностей, расчетных схем создаваемых инструментом усилий и выполняемых технологических операций при проведении аварийно-спасательных работ. Поэтому для обоснованного выбора инструмента, соответствующего характеру работ, необходимо учитывать все упомянутые параметры.

Список источников

1. Научно-производственное объединение «Простор». URL: <http://www.npo-prostor.ru> (дата обращения: 18.01.2022).
2. Фирма «Спрут. Аварийно-спасательное и промышленное оборудование». URL: <http://www.sprut.com> (дата обращения: 18.01.2022).
3. Husqvarna. URL: <http://www.husqvarna.com> (дата обращения: 18.01.2022).
4. Основы применения аварийно-спасательного инструмента и оборудования: учеб. пособие / Д.Ф. Лавриненко [и др.]. Химки: АГЗ МЧС России, 2014. 126 с.
5. Аварийно-спасательный инструмент и оборудование: учеб. / Д.Ф. Лавриненко [и др.]. Химки: АГЗ МЧС России, 2015. 164 с.
6. Trenching and shoring manual. USA, State of California: California department of transportation, 2011. 438 p.
7. Field guide for building stabilization and shoring techniques. USA: Department of homeland security federal emergency management agency, 2011. 190 p.
8. Kamran M. Nemat. Temporary structures shoring, scaffolding and underpinning. USA: University of Washington, 2007. 15 p.
9. Брендон Моррис. Инструкция по применению оборудования для аварийного крепления и подъема. Нидерланды: Холматро, 2008. 100 с.
10. The INSARAG Guidelines. Volume III: Field Operational Guide. Geneva: United Nations Office for the Coordination of Humanitarians Affairs (OCHA), 2020. 46 p.

References

1. Nauchno-proizvodstvennoe ob"edinenie «Prostor». URL: <http://www.npo-prostor.ru> (data obrashcheniya: 18.01.2022).
2. Firma «Sprut. Avarijno-spasatel'noe i promyshlennoe oborudovanie». URL: <http://www.sprut.com> (data obrashcheniya: 18.01.2022).
3. Husqvarna. URL: <http://www.husqvarna.com> (data obrashcheniya: 18.01.2022).
4. Osnovy primeneniya avarijno-spasatel'nogo instrumenta i oborudovaniya: ucheb. posobie / D.F. Lavrinenko [i dr.]. Himki: AGZ MCHS Rossii, 2014. 126 s.
5. Avarijno-spasatel'nyj instrument i oborudovanie: ucheb. / D.F. Lavrinenko [i dr.]. Himki: AGZ MCHS Rossii, 2015. 164 s.
6. Trenching and shoring manual. USA, State of California: California department of transportation, 2011. 438 p.
7. Field guide for building stabilization and shoring techniques. USA: Department of homeland security federal emergency management agency, 2011. 190 p.
8. Kamran M. Nemat. Temporary structures shoring, scaffolding and underpinning. USA: University of Washington, 2007. 15 p.
9. Brendon Morris. Instrukciya po primeneniyu oborudovaniya dlya avarijnogo krepleniya i pod"ema. Niderlandy: Holmatro, 2008. 100 s.
10. The INSARAG Guidelines. Volume III: Field Operational Guide. Geneva: United Nations Office for the Coordination of Humanitarians Affairs (OCHA), 2020. 46 p.

Информация об авторах:

Баринов Михаил Федорович, начальник кафедры аварийно-спасательных работ командно-инженерного факультета Академии гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика (141435, Московская обл., г. о. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А), кандидат технических наук, доцент, e-mail: barinovmf@rambler.ru

Мясников Денис Владимирович, доцент кафедры аварийно-спасательных работ командно-инженерного факультета Академии гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика (141435, Московская обл., г. о. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А), кандидат технических наук, доцент, e-mail: myasnikovdenis@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1153-6567>

Шидловский Александр Леонидович, начальник кафедры практической подготовки сотрудников пожарно-спасательных формирований Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: ppspsf@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>

Information about the authors:

Barinov Mihail F., head of the emergency rescue department command and engineering faculty of the Civil defence academy of EMERCOM of Russia named after lieutenant general D.I. Mikhailik (141435, Moscow region, Khimki, Novogorsk), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: barinovmf@rambler.ru

Myasnikov Denis V., associate professor of the emergency rescue department command and engineering faculty of the Civil defence academy of EMERCOM of Russia named after lieutenant general D.I. Mikhailik (141435, Moscow region, Khimki, Novogorsk), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: myasnikovdenis@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1153-6567>

Shidlovsky Aleksandr L., head of the department of practical training of fire and rescue units Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moscow ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: ppspsf@igps.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 07.07.2022; одобрена после рецензирования: 13.10.2021; принята к публикации: 20.10.2022.

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 07.07.2022; approved after review: 13.10.2022; accepted for publication: 20.10.2022.

Научная статья
УДК 614.843.4

ФОРМИРОВАНИЕ ОБОБЩЕННОГО КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ РУЧНЫХ ПОЖАРНЫХ СТВОЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Брусянин Дмитрий Владимирович;

Новиков Владислав Романович;

✉ Бесков Максим Сергеевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ bmsmchs@yandex.ru

Аннотация. Одним из успешных условий выполнения основной боевой задачи на пожаре является быстрая локализация и последующая ликвидация горения. Выполнение этой задачи напрямую зависит от технического состояния и параметров ручных пожарных стволов. В статье проведен анализ ручных пожарных стволов, находящихся на вооружении подразделений пожарной охраны МЧС России. На основании полученных данных выявлено, что современные стволы в большинстве своем имеют изменяющийся расход огнетушащих веществ, в то время как преимущественно в учебной литературе данные расходы принимаются за постоянные величины. Что, в свою очередь, приводит к неправильному расчету сил и средств, задействованных в тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ. С помощью метода сравнительного анализа рассмотрены основные технические параметры пожарных стволов и приведены их характеристики, что позволило более точно выполнить расчеты и наглядно показать достоинства и недостатки этих стволов. Также сформирован обобщенный комплексный показатель для оценки ручного пожарного ствола из множества единичных параметров устройства, определяющий наиболее эффективный ствол. Используя данный метод, можно сравнивать и подбирать оптимальные ручные пожарные стволы, не прибегая к другим методам.

Ключевые слова: ручной пожарный ствол, тушение пожаров, классификация, характеристики ручных пожарных стволов, локализация, ликвидация, комплексная оценка, безразмерные параметры

Для цитирования: Брусянин Д.В., Новиков В.Р., Бесков М.С. Формирование обобщенного комплексного показателя ручных пожарных стволов, применяемых для тушения пожаров на территории Российской Федерации // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 139–146.

FORMATION OF A GENERALIZED COMPLEX INDICATOR OF MANUAL FIRE BARRELS USED TO EXTINGUISH FIRES ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

Brusyanin Dmitry V.;

Novikov Vladislav R.;

✉ Beskov Maksim S.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ bmsmchs@yandex.ru

Abstract. One of the successful conditions for performing the main combat mission in a fire is the rapid localization and subsequent elimination of gorenje. The performance of this task

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

directly depends on the technical condition and parameters of manual fire barrels. The article analyzes the manual fire barrels that are in service with the fire protection units of the EMERCOM of Russia. Based on the data obtained, it was revealed that modern trunks, for the most part, have a variable consumption of extinguishing agents, while in a large number of educational literature these costs are taken as constant values. Which, in turn, leads to an incorrect calculation of the forces and means involved in extinguishing fires and conducting emergency rescue operations. Based on the method of comparative analysis, the main technical parameters of fire barrels are considered and their comparative characteristics are given, which makes it possible to perform calculations more accurately and clearly shows the advantages and disadvantages of these trunks. A generalized complex indicator has also been formed to evaluate a manual fire barrel from a set of single device parameters. Using this method, it is possible to compare and select the optimal manual fire barrels without resorting to other methods.

Keywords: manual fire barrel, fire extinguishing, classification, characteristics of manual fire barrels, localization, liquidation, comprehensive assessment, dimensionless parameters

For citation: Brusyanin D.V., Novikov V.R., Beskov M.S. Formation of a generalized complex indicator of manual fire barrels used to extinguish fires on the territory of the Russian Federation // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 139–146.

Введение

Успешная локализация и последующая ликвидация горения зависит не только от уровня профессиональной подготовки участников тушения пожара, но и правильных тактических действий, включающих: выбор решающего направления боевых действий, видов огнетушащих веществ и способов их подачи, а также от технических параметров применяемых средств пожаротушения.

Главным устройством для подачи огнетушащих веществ в очаг пожара является пожарный ствол, который может быть ручным и применяться непосредственно у очага пожара или лафетным – установленным на мобильных средствах пожаротушения. На рис. 1 представлена статистика использования пожарных стволов при тушении пожаров, при этом количество применений стволов типа РС-50 уменьшено в десять раз для лучшей информативности диаграммы [1].

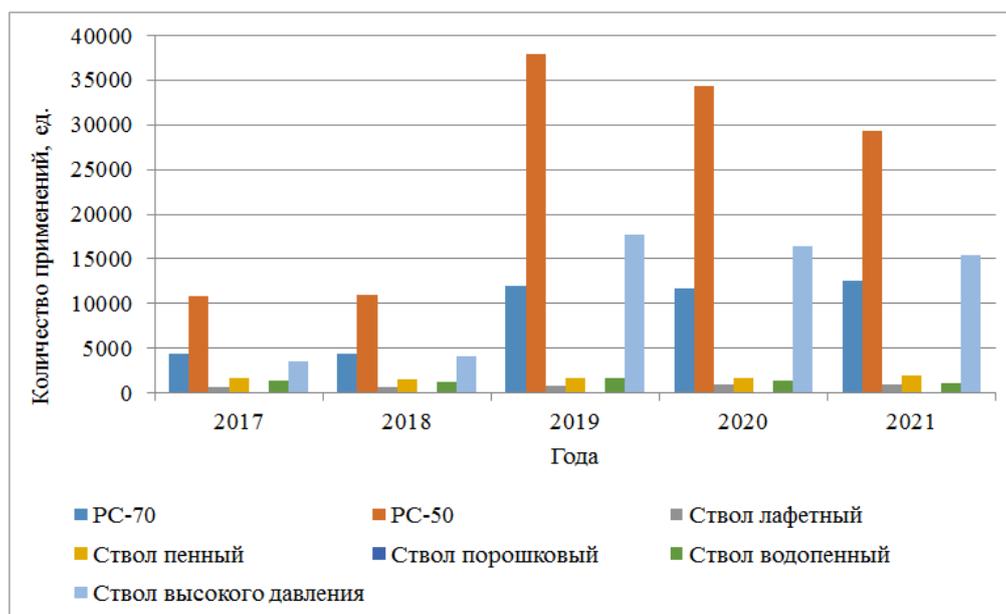


Рис. 1. Статистика применения пожарных стволов с 2017 по 2021 г.

Из представленного рисунка видно, что чаще всего применяются стволы типа РС-50 и РС-70, но прослеживается увеличение использования стволов высокого давления, что связано, возможно, с оснащением подразделений пожарной охраны пожарными автомобилями, оборудованными комбинированными пожарными насосами.

Характеристика ручных пожарных стволов, применяемых при тушении пожара

В настоящее время в пожарной охране применяется порядка 15 видов ручных пожарных стволов в соответствии с ГОСТ Р 53331–2009 [2].

Классификация ручных пожарных стволов очень обширна, а учитывая, что производители ручных пожарных стволов постоянно модернизируют и совершенствуют имеющуюся продукцию, возникает трудность выбора приборов для подачи огнетушащих веществ.

Данные, полученные в ходе анализа отечественных пожарных стволов, представлены на рис. 2.

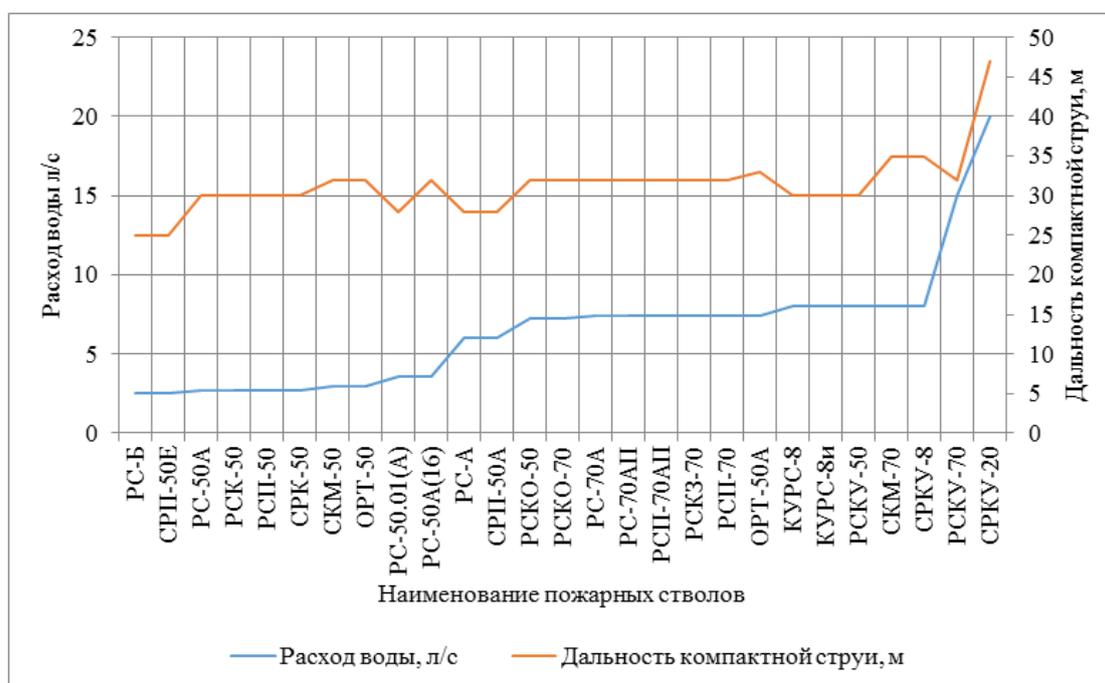


Рис. 2. Расход и дальность подачи компактной струи ручных пожарных стволов отечественных производителей

Из диаграммы видно, что для отечественных стволов с условным проходом DN 50 минимальный расход воды на нужды пожаротушения составляет 2,5 л/с ($0,0025 \text{ м}^3/\text{с}$), однако при решении пожарно-тактических задач он принимается 3,7 л/с ($0,0037 \text{ м}^3/\text{с}$). А для стволов с условным проходом DN 70–7,2 л/с ($0,0072 \text{ м}^3/\text{с}$), в учебной литературе минимальных расход для таких стволов принимается 7,4 л/с ($0,0074 \text{ м}^3/\text{с}$) [3–9].

С учетом такого многообразия стволов возникает необходимость в их правильном выборе с целью оснащения подразделений пожарной охраны. Для облегчения этого выбора предлагается метод анализа размерностей.

Формирование структуры комплексных показателей качества пожарных стволов и анализ их физической сущности

Метод анализа размерностей параметров качества как способность удовлетворять потребителей рассматривался неоднократно [10, 11], однако для пожарных стволов данный вопрос не раскрывался.

Анализ единичных параметров качества пожарных стволов включает в себя следующие характеристики:

- массу;
- длину ствола;
- дальность подачи струи;
- срок службы;
- рабочее давление на выходе;
- расход воды компактной водной струи.

Выбор представленных параметров согласуется с требованиями Всемирной торговой организации, согласно которым при оценке качества продукции преимущество должно отдаваться эксплуатационным, а не конструктивным или описательным характеристикам [12].

Таблица 1. Основные параметры качества пожарных стволов

№ п/п	Единичные параметры качества	Единицы измерения (система Si)
1	Масса (M)	кг
2	Длина ствола (L)	м
3	Дальность компактной струи (l)	м
4	Срок службы (T)	с
5	Рабочее давление на выходе (P)	кг · м ⁻¹ · с ⁻²
6	Расход компактной водной струи (Q)	м ³ · с ⁻¹

Примечание: в таблице рассматриваются характеристики стволов при использовании компактной струи

В табл. 1 отражены только основные показатели, влияющие на техническую эффективность и работоспособность пожарных стволов [14, 15].

В соответствии с π -теоремой [16] в качестве базовых, независимых друг от друга величин, при составлении уравнений связи параметров были использованы: масса (M), длина ствола (L) и срок эксплуатации (T).

Полученные результаты, комплексно характеризующие эффективность пожарных стволов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Безразмерные величины, комплексно характеризующие эффективность пожарного ствола

№ п/п	Уравнения связи параметров	Корни уравнений	Симплексы и комплексы
1	$\pi_1 = P \cdot M^{x_1} \cdot L^{y_1} \cdot T^{z_1}$	$X_1 = -1; Y_1 = 1; Z_1 = 2$	$\pi_1 = \frac{P \cdot L \cdot T^2}{M}$
2	$\pi_2 = Q \cdot M^{x_2} \cdot L^{y_2} \cdot T^{z_2}$	$X_2 = 0; Y_2 = -3; Z_2 = 1$	$\pi_2 = \frac{Q \cdot T}{L^3}$
3	$\pi_3 = l \cdot M^{x_3} \cdot L^{y_3} \cdot T^{z_3}$	$X_3 = 0; Y_3 = -1; Z_3 = 0$	$\pi_3 = \frac{l}{L}$

Физическая сущность сформированных симплексов и комплексов пожарного ствола представлена в табл. 3.

Таблица 3. Физическая сущность безразмерных комплексов пожарного ствола

№ п/п	Обобщенные комплексы и симплексы	Соотношения размерностей обобщенных комплексов и симплексов	Физическая сущность комплексов и симплексов
1	$\pi_1 = \frac{P \cdot l \cdot T^2}{M}$	$[\pi_1] = \frac{\text{кг} / \text{м} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}}$	Удельное давление на выходе (комплекс)
2	$\pi_2 = \frac{Q \cdot T}{l^3}$	$[\pi_2] = \frac{\text{м}^3 / \text{с} \cdot \text{с}}{\text{м}^3}$	Удельный расход воды (комплекс)
3	$\pi_3 = \frac{l}{L}$	$[\pi_3] = \frac{\text{м}}{\text{м}}$	Удельная длина компактной струи (симплекс)

Анализ физической сущности безразмерных комплексов пожарного ствола представлен в табл. 4.

Таблица 4. Анализ физической сущности безразмерных комплексов пожарного ствола

№ п/п	Физическая сущность комплексов и симплексов	Теоретическая тенденция изменения показателя при росте качества образца	Обоснование
1	Удельное давление на выходе (комплекс, π_1)	Снижение параметра	Снижение данного параметра позволяет меньше загружать пожарный насос при работе на пожаре, ствольщику (пожарному) становится легче работать с пожарным стволом
2	Удельный расход воды (комплекс, π_2)	Увеличение параметра	Повышенный расход воды пожарного ствола позволяет в кратчайшие сроки привести к условиям локализации и ликвидации пожара, так же возможно уменьшение подачи количество пожарных стволов за счет увеличения расхода воды
3	Удельная длина компактной струи (симплекс, π_3)	Увеличение параметра	Повышение дальности подачи компактной струи обезопасит ствольщиков (пожарных) при тушении пожаров от теплового потока и повышенной температуры

Исходя из выбранных величин первой группы, путем физического анализа образован обобщенный комплекс – полезная работа пожарного ствола.

Обобщенный комплекс пожарного ствола:

$$\pi_{\text{пож.ст.}} = \frac{\pi_2 \cdot \pi_3}{\pi_1} = \frac{Q \cdot l \cdot M}{P \cdot L^5 \cdot T} \quad (1)$$

Преобразовав формулу (1), получим обобщенный показатель комплекса пожарного ствола, физическая сущность которого представлена в табл. 5.

Таблица 5. Физическая сущность обобщенного комплекса пожарного ствола

Обобщенный комплекс	Соотношения размерностей обобщенных комплексов	Физическая сущность комплексов
$\pi_{\text{пож.ст.}} = \frac{\pi_2 \cdot \pi_3}{\pi_1} = \frac{Q \cdot l \cdot M \cdot L^{-2} \cdot T^{-1}}{P \cdot L^3}$	$[\pi_{\text{пож.ст.}}] = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж}}$	Удельная полезная работа пожарного ствола

Используя формулу (1), возможно выбрать пожарный ствол, имеющий лучшие технические характеристики.

Заключение

Из данных, представленных на рис. 2, видно, что наиболее эффективный ствол отечественного производства СКРУ-20.

Также значительные трудности может вызвать тот факт, что в справочной и учебной литературе при решении пожарно-тактических задач расходы стволов с условным проходом DN 50 и DN 70 принимаются 3,7 л/с (0,0037 м³/с) и 7,4 л/с (0,0074 м³/с) соответственно [3–9]. Такое допущение в расчетах может сказаться на правильном выполнении расчета сил и средств подразделений пожарной охраны при составлении документации предварительного планирования тушения пожаров на различных объектах. Что, в свою очередь, может привести к увеличению материального ущерба, травмам и гибели людей. Следует отметить, что применяемые в настоящее время ручные стволы имеют регулируемый расход в диапазоне от 2 – до 19 л/с (0,002–0,019 м³/с).

Предложенный метод позволяет выбрать оптимальный вариант ручного пожарного ствола для выполнения задач по тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ.

Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: стат. сб. / В.С. Гончаренко [и др.] // Статистика пожаров и их последствия. М.: ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
2. ГОСТ Р 53331–2009. Техника пожарная. Стволы пожарные ручные. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 24.06.2022).
3. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 24.06.2022).
4. Техносферная безопасность. Пожарная тактика. Справочник руководителя пожарно-спасательного подразделения: учеб. пособие / А.А. Баранов [и др.]; под общ. ред. Б.В. Гавкалюка. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2020. 96 с.
5. Пожарная тактика. Справочник специалиста: учеб. пособие / А.П. Решетов [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 140 с.
6. Планирование и организация тушения пожаров. Пожарная тактика. Практика: учеб. пособие / А.П. Решетов [и др.]; под. общ. ред. Э.Н. Чижикова. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 104 с.
7. Терехнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М.: Пожкнига, 2004. 256 с.
8. Справочник начальника караула пожарной части: справ. 5-е изд. перераб. и доп. / А.А. Мельник [и др.]. Красноярск: Сиб. пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2019. 176 с.
9. Grant G., Brenton J., Drysdale D. Fire suppression by water sprays // Progress in energy and combustion science. 2000. Vol. 26. № 2. P. 79–130.
10. Кожевин Д.Ф. Методика комплексной оценки эффективности огнетушителей: дис. ... канд. тех. наук. СПб., 2011. 167 с.
11. Филановский А.М. Методика комплексной оценки эффективности гидравлического аварийно-спасательного инструмента, применяемого при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на транспорте: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2013. 125 с.

12. ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Единицы величин // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 24.06.2022).

13. Чугунова Т.М. Применение современных ручных пожарных стволов. Плюсы и минусы // Академическая публицистика. 2019. № 6. С. 65–68.

14. Ngo Q.T., Truong V. Ph. Research and application of fire fighting techniques using hand-held nozzles // Safety systems: proceedings of the international scientific and technical conference. 2021. № 30. P. 232–237.

15. Dinh Ngoc Tuan, Nguyen Xuan Linh. Application of multi-function nozzles in fire fighting // Journal of fire prevention and fighting. 2015. № 70. P. 38, 39, 47.

16. Бриджмен П. Анализ размерностей. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.

References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: stat. sb. / V.S. Goncharenko [i dr.] // Statistika pozharov i ih posledstviya. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2022. 114 s.

2. GOST R 53331–2009. Tekhnika pozharnaya. Stvolы pozharnye ruchnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy // Elektronnyy fond pravovoy i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 24.06.2022).

3. GOST 15150–69. Mashiny, pribory i drugie tekhnicheskie izdeliya. Ispolneniya dlya razlichnykh klimaticheskikh rajonov. Kategorii, usloviya ekspluatatsii, hraneniya i transportirovaniya v chasti vozdeystviya klimaticheskikh faktorov vneshnej sredy // Elektronnyy fond pravovoy i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii.

URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 24.06.2022).

4. Tekhnosfernaya bezopasnost'. Pozharnaya taktika. Spravochnik rukovoditelya pozharnospasatel'nogo podrazdeleniya: ucheb. posobie / A.A. Baranov [i dr.]; pod obshch. red. B.V. Gavkalyuka. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2020. 96 s.

5. Pozharnaya taktika. Spravochnik specialista: ucheb. posobie / A.P. Reshetov [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2019. 140 s.

6. Planirovanie i organizatsiya tusheniya pozharov. Pozharnaya taktika. Praktika: ucheb. posobie / A.P. Reshetov [i dr.]; pod. obshch. red. E.N. Chizhikova. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2017. 104 s.

7. Terebnev V.V. Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara. Takticheskie vozmozhnosti pozharnykh podrazdeleniy. M.: Pozhkniga, 2004. 256 s.

8. Spravochnik nachal'nika karaula pozharnoy chasti: sprav. 5-e izd. pererab. i dop. / A.A. Mel'nik [i dr.]. Krasnoyarsk: Sibirskaya pozh.-spas. akad. GPS MCHS Rossii, 2019. 176 s.

9. Grant G., Brenton J., Drysdale D. Fire suppression by water sprays // Progress in energy and combustion science. 2000. Vol. 26. № 2. P. 79–130.

10. Kozhevnikov D.F. Metodika kompleksnoy ocenki effektivnosti ognetushitelej: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2011. 167 s.

11. Filanovskiy A.M. Metodika kompleksnoy ocenki effektivnosti gidravlicheskogo avarijno-spasatel'nogo instrumenta, primenyaemogo pri likvidatsii posledstviy chrezvychajnykh situatsiy na transporte: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2013. 125 s.

12. ГОСТ 8.417–2002. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy (GSI). Edinicy velichin // Elektronnyy fond pravovoy i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 24.06.2022).

13. Chugunova T.M. Primenenie sovremennykh ruchnykh pozharnykh stvolov. Plyusy i minusy // Akademicheskaya publicistika. 2019. S. 65–68.

14. Ngo Q.T., Truong V. Ph. Research and application of fire fighting techniques using hand-held nozzles // Safety systems: proceedings of the international scientific and technical conference. 2021. № 30. P. 232–237.

15. Dinh Ngoc Tuan, Nguyen Xuan Linh. Application of multi-function nozzles in fire fighting // Journal of fire prevention and fighting. 2015. № 70. P. 38, 39, 47.
16. Bridzhmen P. Analiz razmernostej. Izhevsk: NIC «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika», 2001.

Информация об авторах:

Брусянин Дмитрий Владимирович, доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: brusyanin@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1145-8394>

Новиков Владислав Романович, старший преподаватель кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: novikovvr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1103-8763>

Бесков Максим Сергеевич, преподаватель кафедры специальной подготовки Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: bmsmchs@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3153-7364>

Information about the authors:

Brusyanin Dmitry V., associate professor of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: brusyanin@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1145-8394>

Novikov Vladislav R., senior lecturer of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: novikovvr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1103-8763>

Beskov Maxim S., lecturer of the department of special training of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: bmsmchs@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3153-7364>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 10.10.2022; одобрена после рецензирования: 09.11.2022; принята к публикации: 14.11.2022.

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 10.10.2022; approved after review: 09.11.2022; accepted for publication: 14.11.2022.

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА

Научная статья
УДК 342.7; 342.9

ПРАВОВОЕ СОПОСТАВЛЕНИЕ ОБЩЕЙ И ЧАСТИЧНОЙ МОБИЛИЗАЦИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

✉ **Винокуров Владимир Анатольевич.**
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
✉ tigp@igps.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию правового содержания понятия «частичная мобилизация». В результате осуществленного анализа констатируется отсутствие в федеральных законах, иных нормативных правовых актах четкого понимания сути частичной мобилизации и ее отличий от мобилизации общей.

Принимая во внимание существующие нормы российского законодательства, автором выявлены признаки, позволяющие разграничить общую и частичную мобилизацию.

В результате предложен вариант определения термина «частичная мобилизация», сформулированы предложения по внесению изменений и дополнений в Федеральный закон «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации», которые позволят закрепить различия в юридическом понимании общей мобилизации и частичной мобилизации, а также в осуществлении необходимых действий при их объявлении.

Ключевые слова: Конституция Российской Федерации, мобилизация, общая мобилизация, частичная мобилизация, призыв на военную службу, предельный возраст пребывания на военной службе, запас Вооруженных Сил Российской Федерации

Для цитирования: Винокуров В.А. Правовое сопоставление общей и частичной мобилизации в Российской Федерации // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 147–154.

LEGAL COMPARISON OF GENERAL AND PARTIAL MOBILIZATIONS IN THE RUSSIAN FEDERATION

✉ **Vinokurov Vladimir A.**
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
✉ tigp@igps.ru

Abstract. The article is devoted to the study of the legal content of the concept of «partial mobilization». As a result of the analysis carried out, the absence in federal laws and other regulatory legal acts of a clear understanding of the essence of partial mobilization and its differences from the mobilization of the general.

Taking into account the existing norms of Russian legislation, the author has identified signs that allow distinguishing between general and partial mobilization.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

As a result, a variant of the definition of the term «partial mobilization» is proposed, proposals are formulated for amendments and additions to the Federal Law «On mobilization training and mobilization in the Russian Federation», which will consolidate the differences in the legal understanding of general mobilization and partial mobilization, as well as in the implementation of the necessary actions when they are announced.

Keywords: constitution of the Russian Federation, mobilization; general mobilization, partial mobilization, conscription, age limit for military service, reserve of the Armed Forces of the Russian Federation

For citation: Vinokurov V.A. Legal comparison of general and partial mobilizations in the Russian Federation // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 147–154.

Конституция Российской Федерации не содержит понятия «мобилизация», но при этом возлагает на Правительство Российской Федерации обязанности по осуществлению мер по обеспечению обороны страны, а на главу государства – утверждение военной доктрины Российской Федерации [1, п. «д» ч. 1 ст. 114; п. «з» ст. 83].

Военная доктрина Российской Федерации, утвержденная Президентом Российской Федерации 25 декабря 2014 года № Пр-2976, фиксируя официально принятые в государстве взгляды на подготовку к вооруженной защите и на вооруженную защиту Российской Федерации [2, п. 1], рассматривает в данном контексте мобилизационную готовность Российской Федерации как «способность Вооруженных Сил, других войск и органов, экономики государства, а также федеральных органов государственной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и организаций к выполнению мобилизационных планов» [2, подпункт «м» п. 8].

Объявляя в сентябре 2022 года частичную мобилизацию [3], глава государства в преамбуле принятого акта ссылается на федеральные законы «Об обороне» (принят в 1996 году), «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации» (принят в 1997 году) и «О воинской обязанности и военной службе» (принят в 1998 году). Рассмотрим нормы перечисленных федеральных законов, касающиеся частичной мобилизации.

В соответствии с Федеральным законом «Об обороне» Президент Российской Федерации как Верховный Главнокомандующий Вооруженными Силами Российской Федерации «в случаях агрессии или непосредственной угрозы агрессии против Российской Федерации, возникновения вооруженных конфликтов, направленных против Российской Федерации, объявляет общую или частичную мобилизацию» [4, подпункт 4 п. 2 ст. 4].

Федеральный закон «О воинской обязанности и военной службе» определяет воинскую обязанность граждан Российской Федерации, которая предусматривает, в том числе, призыв на военную службу по мобилизации и прохождение военной службы в период мобилизации [5, п. 2 ст. 1]. Отдельно о частичной мобилизации в данном Федеральном законе ничего не говорится.

В Федеральном законе «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации», то есть в основном законе, который должен регулировать все, что касается мобилизации, вопросы частичной мобилизации лишь обозначены. Так, в названном Федеральном законе предусмотрено, что, во-первых, мобилизация в Российской Федерации может быть общей или частичной, а во-вторых, что комплекс мероприятий, проводимых, в том числе, при объявлении частичной мобилизации в Российской Федерации, определяется не только Федеральным законом «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации», но и нормативными правовыми актами Президента Российской Федерации, Правительства Российской Федерации и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации. Кроме того, повторена норма Федерального закона «Об обороне», по которой Президент Российской Федерации «в случаях агрессии против Российской Федерации или непосредственной угрозы агрессии, возникновения вооруженных конфликтов, направленных

против Российской Федерации, объявляет общую или частичную мобилизацию с незамедлительным сообщением об этом Совету Федерации и Государственной Думе» [6, п. 2 ст. 1; подпункт 6 п. 1 ст. 4].

Исходя из изложенных выше норм федеральных законов, следует, что даже основной законодательный акт о мобилизации не дает ответов на то, что именно понимается под частичной мобилизацией, чем она отличается от мобилизации общей и как следует поступать военнообязанному гражданину России при объявлении частичной мобилизации. Поскольку Федеральный закон «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации» отсылает нас к подзаконным актам, которыми должен определяться комплекс мероприятий, проводимых при частичной мобилизации, обратимся к Указу Президента Российской Федерации от 21 сентября 2022 года № 647 «Об объявлении частичной мобилизации в Российской Федерации» [7], из текста которого можно вычленим некоторые отличительные признаки частичной мобилизации от мобилизации общей. Так, в соответствии с пунктами 2, 3 и 5 названного акта главы государства граждане Российской Федерации, призванные на военную службу, имеют статус военнослужащих, проходящих военную службу в Вооруженных Силах Российской Федерации по контракту, с соответствующим уровнем денежного содержания. При этом в качестве одного из оснований увольнения граждан Российской Федерации, призванных на военную службу по мобилизации в Вооруженные Силы Российской Федерации, указано достижение этими лицами предельного возраста пребывания на военной службе.

Как известно, Федеральный закон «О воинской обязанности и военной службе» определяет предельный возраст пребывания на военной службе, который, в частности, составляет: для военнослужащих, имеющих воинские звания от рядового до подполковника, капитана 2 ранга включительно, – 50 лет, звание полковника, капитана 1 ранга – 55 лет; а для военнослужащих женского пола независимо от звания – 45 лет [5, ст. 49]^{*}.

Данный Федеральный закон также предусматривает состав запаса, состоящий из трех разрядов. Установленный максимальный возраст граждан, пребывающих в запасе, в зависимости от воинского звания и разряда составляет: для солдат, матросов, сержантов, старшин, прапорщиков и мичманов – 35, 45 и 50 лет (первый, второй, третий разряды); для младших офицеров – 50, 55 и 60 лет (первый, второй, третий разряды); для майоров, капитанов 3 ранга, подполковников, капитанов 2 ранга – 55, 60 и 65 лет (первый, второй, третий разряды); для полковников, капитанов 1 ранга – 60 и 65 лет (первый и второй разряды) [5, ст. 53]. Одновременно Федеральный закон «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации» предусматривает, что «призыву на военную службу по мобилизации подлежат граждане, пребывающие в запасе, не имеющие права на отсрочку от призыва на военную службу по мобилизации», а также обязанность граждан России «являться по вызову военных комиссариатов ... для определения своего предназначения в период мобилизации...» [6, п. 2 ст. 17; подпункт 1 п. 1 ст. 10].

В постатейных комментариях к Федеральному закону «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации» была осуществлена попытка определить отличия общей мобилизации и частичной мобилизации. К сожалению, авторы работы ориентировались только на территориальный признак. Так, по их мнению, «в зависимости от масштабов проведения мобилизация подразделяется на два типа. Общая мобилизация распространяется на все Вооруженные Силы, проводится на всей территории страны. Частичная мобилизация охватывает войска одного или нескольких военных округов (флотов) или отдельные соединения (объединения). Проводится такая мобилизация лишь на определенной части территории государства» [8, 9]. Эта же мысль повторена различными авторами в других комментариях к ряду федеральных законов [10–12]. Как видим, предложенный в комментариях признак,

^{*} В целях лучшего восприятия текста в статье не рассматриваются военнослужащие запаса, имеющие воинские звания высших офицеров, что не влияет на сформулированные автором выводы.

отличающий общую мобилизацию от частичной мобилизации, не подтверждается реальным положением дел.

Подвергнутые анализу нормативные правовые акты в их комплексном рассмотрении позволяют выявить следующий признак, отличающий общую мобилизацию от мобилизации частичной:

1) при объявлении *общей* мобилизации проводится призыв на военную службу всех граждан Российской Федерации, пребывающих в запасе, попадающих в возрастную категорию, установленную в статье 53 Федерального закона «О воинской обязанности и военной службе»;

2) при объявлении *частичной* мобилизации проводится призыв на военную службу граждан Российской Федерации, пребывающих в запасе, но только тех, кто попадает в возрастную категорию, установленную в статье 49 Федерального закона «О воинской обязанности и военной службе».

Данный подход к пониманию нормативных правовых актов, касающихся частичной мобилизации, означает, что призыву на военную службу по частичной мобилизации подлежат не все лица, состоящие в запасе в соответствии с установленным статьей 53 Федерального закона «О воинской обязанности и военной службе» возрастом, а только те, что попадают в возрастную категорию, установленную в статье 49 этого же Федерального закона, то есть в возрасте, не превышающем предельный для пребывания на военной службе.

Для наглядности возрастные рамки, установленные названными статьями «О воинской обязанности и военной службе», показаны в таблице.

Таблица

Составы	Возраст граждан, пребывающих в запасе (лет) (из статьи 53 Федерального закона «О воинской обязанности и военной службе»)			Предельный возраст пребывания на военной службе (лет) (из статьи 49 Федерального закона «О воинской обязанности и военной службе»)
	Первый разряд	Второй разряд	Третий разряд	
Солдаты, матросы, сержанты, старшины, прапорщики и мичманы	до 35	до 45	до 50	50
Младшие офицеры	до 50	до 55	до 60	50
Майоры, капитаны 3 ранга, подполковники, капитаны 2 ранга	до 55	до 60	до 65	50
Полковники, капитаны 1 ранга	до 60	до 65	–	55
Женщины: офицеры с иными званиями	–	–	до 50 до 45	45

Из таблицы следует, что по указанным составам при объявлении частичной мобилизации в военкоматы должны прибыть граждане, состоящие в запасе, чей возраст не превышает 50 лет (для полковников, капитанов 1 ранга – 55 лет), а для женщин – 45 лет.

Учитывая изложенное, к гражданам, состоящим в запасе, но возраст которых не позволяет находиться на военной службе, не может быть применена какая-либо ответственность за неявку в военкомат, поскольку причина такой неявки – возраст, установленный актом главы государства для частичной мобилизации – должна признаваться уважительной.

В соответствии с Федеральным законом «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации» в содержание мобилизационной подготовки и мобилизации, в числе других мероприятий входит бронирование на период мобилизации и на военное время граждан,

пребывающих в запасе Вооруженных Сил Российской Федерации [6, подпункт 21 п. 3 ст. 2]. Названным Федеральным законом определено также, что граждане, подлежащие бронированию, освобождаются от призыва на военную службу по мобилизации и последующих призывов в военное время на время предоставленной отсрочки, им предоставляется отсрочка от призыва на военную службу по мобилизации [6, п. 2 ст. 23; подпункт 1 п. 1 ст. 18].

Данным Федеральным законом полномочия по установлению порядка организации работ по бронированию возложены на Президента Российской Федерации, а полномочия по организации бронирования – на Правительство Российской Федерации [6, подпункт 8 п. 1 ст. 4; подпункт 17 п. 1 ст. 6].

Фактически актами главы государства после объявления частичной мобилизации предоставлена отсрочка от призыва на военную службу по мобилизации определенным категориям граждан Российской Федерации:

– работающим в организациях оборонно-промышленного комплекса на период работы в этих организациях [7, п. 9];

– получающим образование соответствующего уровня впервые, обучающимся по очной и очно-заочной формам обучения [13].

В полномочиях Президента Российской Федерации – право предоставлять отсрочки от призыва на военную службу по мобилизации гражданам или отдельным категориям граждан, не поименованным в законе [6, п. 2 ст. 18]. Безусловно, такое право у главы государства должно быть. Однако в целях нормального, планового функционирования органов публичной власти в области мобилизационной подготовки и мобилизации необходимо, чтобы категории граждан Российской Федерации, которые получают отсрочку от призыва на военную службу по частичной мобилизации, заранее были определены в законе, причем отдельно от перечня лиц, которым предоставляется отсрочка при всеобщей мобилизации. В такой список можно было бы включить отрасли, производства, государственные органы и организации, служба или работа в которых предусматривает бронирование граждан. В этом случае и граждане, и работодатели, и военкоматы заблаговременно будут знать, какие категории граждан должны быть забронированы, поскольку имеют право на отсрочку от призыва на военную службу по частичной мобилизации.

В результате проведенного анализа нормативных правовых актов по вопросам частичной мобилизации предлагается следующее определение частичной мобилизации:

«Частичная мобилизация – это отдельный вид мобилизации, объявляемый Президентом Российской Федерации в случаях проведения локальных военных операций, в том числе для предотвращения военных конфликтов, непосредственно угрожающих Российской Федерации».

Предлагаются также следующие изменения и дополнения в Федеральный закон «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации»:

а) статью 1 дополнить пунктом 3 следующего содержания:

«3. Общая мобилизация – это вид мобилизации, охватывающий весь комплекс мероприятий, предусмотренный мобилизационными планами, объявляемый в случаях агрессии против Российской Федерации или непосредственной угрозы агрессии, возникновения вооруженных конфликтов, направленных против Российской Федерации.

Частичная мобилизация – это вид мобилизации, объявляемый в случаях проведения локальных военных операций, в том числе для предотвращения военных конфликтов, непосредственно угрожающих Российской Федерации»;

б) пункт 2 статьи 17 изложить в следующей редакции:

«2. Призыву на военную службу при объявлении общей мобилизации подлежат граждане, пребывающие в запасе, не имеющие права на отсрочку от призыва на военную службу по мобилизации.

Призыву на военную службу при объявлении частичной мобилизации подлежат граждане, пребывающие в запасе, не имеющие права на отсрочку от призыва на военную

службу по мобилизации, в возрасте, не превышающем установленный для прохождения военной службы»;

в) в статье 18:

– в пункте 1 слова «по мобилизации» заменить словами «при объявлении общей или частичной мобилизации»;

– дополнить пунктом 2 следующего содержания:

«2. Дополнительно отсрочка от призыва на военную службу при объявлении частичной мобилизации предоставляется гражданам:

1) работающим в организациях оборонно-промышленного комплекса, в организациях, осуществляющих деятельность в области информационных технологий, в сфере информации и связи, а также в организациях, обеспечивающих стабильность национальной платежной системы;

2) работающим в центральных аппаратах федеральных органов исполнительной власти;

3) проходящим службу в федеральных органах исполнительной власти (включая территориальные органы), осуществляющих функции по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере внутренних дел; в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; в сфере исполнения уголовных наказаний; в области таможенного дела, а также в подведомственных этим органам организациях;

4) получающим образование соответствующего уровня впервые, обучающимся по очной, очно-заочной и заочной формам обучения.

Перечень организаций, работа или учеба в которых дает возможность получения отсрочки от призыва на военную службу при объявлении частичной мобилизации в соответствии с подпунктами 1 и 4 настоящего пункта, определяется Правительством Российской Федерации»;

– пункт 2 считать пунктом 3, заменив в нем слова «указанных в пункте 1» словами «указанных в пунктах 1 и 2».

Предложенные определения частичной мобилизации и поправки в Федеральный закон «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации» позволят гражданам Российской Федерации, а также органам и организациям, в том числе занимающимся вопросами мобилизации, оперативно и грамотно осуществлять мероприятия в случаях объявления частичной мобилизации.

Список источников

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 года) // Официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru). 2022. 6 окт. № 0001202210060013.

2. Военная доктрина Российской Федерации (утв. Президентом Рос. Федерации от 25 дек. 2014 г. № Пр-2976) // Рос. газ. 2014. 30 дек.

3. Об объявлении частичной мобилизации в Российской Федерации: Указ Президента Рос. Федерации от 21 сент. 2022 г. № 647 // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2022. № 39. Ст. 6590.

4. Об обороне: Федеральный закон от 31 мая 1996 г. № 61-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1996. № 23. Ст. 2750.

5. О воинской обязанности и военной службе: Федер. закон от 28 марта 1998 г. № 53-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1998. № 13. Ст. 1475.

6. О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации: Федер. закон от 26 февр. 1997 г. № 31-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1997. № 9. Ст. 1014.

7. Об объявлении частичной мобилизации в Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 21 сент. 2022 г. № 647 // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2022. № 39. Ст. 6590.

8. Китрова Е.В., Кузьмин В.А. Комментарий к Федеральному закону от 26 февраля 1997 г. № 31-ФЗ «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации» (постатейный) / отв. ред. Н.М. Филенко // СПС КонсультантПлюс. 2007.
9. Китрова Е.В., Кузьмин В.А. Комментарий к Федеральному закону от 26 февраля 1997 г. № 31-ФЗ «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации» (постатейный) / отв. ред. Н.М. Филенко // СПС КонсультантПлюс. 2012.
10. Китрова Е.В., Кузьмин В.А. Комментарий к Федеральному закону от 31 мая 1996 г. № 61-ФЗ «Об обороне» (постатейный) // СПС КонсультантПлюс. 2008.
11. Миронов В.И. Комментарий к Федеральному закону от 25 июля 2002 г. № 113-ФЗ «Об альтернативной гражданской службе» (постатейный) // СПС КонсультантПлюс. 2009.
12. Кузьмин В.А. Комментарий к Федеральному конституционному закону от 30 января 2002 г. № 1-ФКЗ «О военном положении» (постатейный) // СПС КонсультантПлюс. 2010.
13. О предоставлении отсрочки от призыва на военную службу по мобилизации (с изм., внесенными Указом Президента Рос. Федерации от 5 окт. 2022 г. № 712): Указ Президента Рос. Федерации от 24 сент. 2022 г. № 664 // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2022. № 39. Ст. 6598; официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru). 2022. 6 окт. № 0001202210060001.

References

1. Konstituciya Rossijskoj Federacii (prinyata vsenarodnym golosovaniem 12 dekabrya 1993 goda) // Oficial'nyj internet-portal pravovoj informacii (www.pravo.gov.ru). 2022. 6 okt. № 0001202210060013.
2. Voennaya doktrina Rossijskoj Federacii (utv. Prezidentom Ros. Federacii ot 25 dek. 2014 g. № Pr-2976) // Ros. gaz. 2014. 30 dek.
3. Ob ob"yavlenii chastichnoj mobilizacii v Rossijskoj Federacii: Ukaz Prezidenta Ros. Federacii ot 21 sent. 2022 g. № 647 // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 2022. № 39. St. 6590.
4. Ob oborone: Federal'nyj zakon ot 31 maya 1996 g. № 61-FZ // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 1996. № 23. St. 2750.
5. O voinskoj obyazannosti i voennoj sluzhbe: Feder. zakon ot 28 marta 1998 g. № 53-FZ // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 1998. № 13. St. 1475.
6. O mobilizacionnoj podgotovke i mobilizacii v Rossijskoj Federacii: Feder. zakon ot 26 fevr. 1997 g. № 31-FZ // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 1997. № 9. St. 1014.
7. Ob ob"yavlenii chastichnoj mobilizacii v Rossijskoj Federacii: Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 21 sent. 2022 g. № 647 // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 2022. № 39. St. 6590.
8. Kitrova E.V., Kuz'min V.A. Kommentarij k Federal'nomu zakonu ot 26 fevralya 1997 g. № 31-FZ «O mobilizacionnoj podgotovke i mobilizacii v Rossijskoj Federacii» (postatejnyj) / отв. ред. Н.М. Филенко // СПС КонсультантПлюс. 2007.
9. Китрова Е.В., Кузьмин В.А. Комментарий к Федеральному закону от 26 февраля 1997 г. № 31-ФЗ «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации» (постатейный) / отв. ред. Н.М. Филенко // СПС КонсультантПлюс. 2012.
10. Китрова Е.В., Кузьмин В.А. Комментарий к Федеральному закону от 31 мая 1996 г. № 61-ФЗ «Об обороне» (постатейный) // СПС КонсультантПлюс. 2008.
11. Миров В.И. Комментарий к Федеральному закону от 25 июля 2002 г. № 113-ФЗ «Об альтернативной гражданской службе» (постатейный) // СПС КонсультантПлюс. 2009.
12. Кузьмин В.А. Комментарий к Федеральному конституционному закону от 30 января 2002 г. № 1-ФКЗ «О военном положении» (постатейный) // СПС КонсультантПлюс. 2010.
13. О предоставлении отсрочки от призыва на военную службу по мобилизации (с изм., внесенными Указом Президента Рос. Федерации от 5 окт. 2022 г. № 712): Указ Президента Рос. Федерации от 24 сент. 2022 г. № 664 // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2022. № 39. Ст. 6598; официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru). 2022. 6 окт. № 0001202210060001.

Информация об авторе

Винокуров Владимир Анатольевич, профессор кафедры теории и истории государства и права Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор юридических наук, доцент, заслуженный юрист Российской Федерации, e-mail: tigr@igps.ru

Information about the author

Vinokurov Vladimir A., professor of the department of theory and history of state and law of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of law, associate professor, honored lawyer of the Russian Federation, e-mail: tigr@igps.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 17.10.2021; одобрена после рецензирования: 21.10.2022; принята к публикации: 24.10.2022.

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 17.10.2022; approved after review: 21.10.2022; accepted for publication: 24.10.2022.

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Научная статья

УДК 656.085.5

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ПОЖАРНОГО РИСКА ПРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ

✉ Леонтьева Мария Сергеевна.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ igps19@mail.ru

Аннотация. Существование и развитие современной экономики невозможно представить без транспортной инфраструктуры. Положительная динамика роста объема грузоперевозок связана с развитием отечественной экономики, внедрением программ импортозамещения. В условиях увеличения объема грузоперевозок, в том числе и опасных грузов, необходимо усилить меры контроля пожарной безопасности. Пожары при перевозках опасных грузов могут привести к остановке движения, повреждению инфраструктуры и причинению вреда жизни и здоровью населения и сотрудников ОАО «Российские железные дороги», к значительному материальному ущербу. В статье анализируются достоинства и недостатки известных методов, и предлагаются новые эффективные подходы к снижению пожарного риска с помощью аппаратно-программного комплекса раннего дистанционного обнаружения признаков и предпосылок возникновения чрезвычайных ситуаций при транспортировке опасных грузов железнодорожным транспортом. Предложена архитектура аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего работу системы поддержки принятия решений. Концепция построения мониторинговой системы может быть успешно реализована не только на железнодорожном транспорте, но и на объектах хранения пожаро- и взрывоопасных веществ в морских портах, складах, при их транспортировке по трубопроводам и в других потенциально опасных местах, то есть является универсальной. Установлено, что методы и способы снижения пожарных рисков, основанные на раннем обнаружении признаков и предпосылок к возникновению чрезвычайных ситуаций, наиболее эффективны и экономически рациональны. В работе были использованы теоретико-эмпирические методы, методы теории автоматического управления, методы комплексного анализа и обработки данных о рисках. С целью снижения вероятности возникновения чрезвычайной ситуации разработана система, ядром которой является аппаратно-программный комплекс диагностики и прогнозирования уровня пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов. Обоснована необходимость оборудования объектов железнодорожной инфраструктуры разработанной системой дистанционного оценивания пожарного риска.

Ключевые слова: пожарный риск, грузовые перевозки, опасные грузы, система мониторинга, аппаратно-программный комплекс

Для цитирования: Леонтьева М.С. Комплексная методика снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 155–163.

INTEGRATED METHODOLOGY FOR REDUCING FIRE RISK IN RAILWAY TRANSPORTATION OF DANGEROUS GOODS

✉ Leontyeva Maria S.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ igps19@mail.ru

Abstract. The existence and development of a modern economy cannot be imagined without transport infrastructure. The positive dynamics of cargo transportation volume growth is associated with the development of the domestic economy, the introduction of import substitution programs. In the context of an increase in the volume of cargo transportation, including dangerous goods, it is necessary to strengthen fire safety control measures. Fires during the transportation of dangerous goods can lead to traffic stoppage, damage to infrastructure and harm to the life and health of the population and employees of «Russian Railways», to significant material damage. The article analyzes the advantages and disadvantages of known methods and suggests new effective approaches to reducing fire risk using a hardware and software complex for remote early detection of signs and prerequisites for emergency situations during the transportation of dangerous goods by rail. The architecture of the hardware and software complex that ensures the operation of the decision support system is proposed. The concept of building a monitoring system can be successfully implemented not only in railway transport, but also at storage facilities for fire and explosive substances in seaports, warehouses, during their transportation through pipelines and in other potentially dangerous places, that is, it is universal. It has been established that methods and methods of reducing fire risks based on early detection of signs and prerequisites for emergency situations are the most effective and economically rational. Theoretical and empirical methods, methods of the theory of automatic control, methods of complex analysis and processing of risk data were used in the work. In order to reduce the likelihood of an emergency situation, a system has been developed, the core of which is a hardware and software complex for diagnosing and predicting the level of fire risk during the rail transportation of dangerous goods. The necessity of equipping railway infrastructure facilities with the developed system of remote fire risk assessment is substantiated.

Keywords: fire risk, freight transportation, dangerous goods, monitoring system, hardware and software complex

For citation: Leontyeva M.S. Integrated methodology for reducing fire risk in railway transportation of dangerous goods // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 155–163.

Введение

Логистические цепочки в современных условиях мировой экономики претерпевают изменения в связи с масштабными геополитическими трансформациями. Меняются их направления: повышается роль внутренних грузоперевозок по территории России, западное направление сменяется восточным. Такое перераспределение не снижает нагрузку на железнодорожные составы, которые по-прежнему в больших объемах перевозят опасные грузы [1, 2].

Транспортировка опасных грузов сопровождается пожарными рисками. Номенклатура перевозимых веществ и материалов расширяется, а стоимость грузов возрастает, что ведет к увеличению материального ущерба в случае техногенной аварии на железнодорожном транспорте. Поэтому крайне важно наблюдать за параметрами грузов и факторами, которые могут привести к возгоранию [2, 3].

Цель исследований, результаты которых представлены в статье, – снижение пожарного риска при железнодорожных перевозках взрывопожароопасных грузов различного назначения на основе использования аппаратно-программного комплекса раннего дистанционного

обнаружения признаков и предпосылок возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). Объект исследования: пожарные риски при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов. Для достижения цели исследования была сформулирована следующая научная задача: разработка и совершенствование научно-методического аппарата снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов на основе адаптивной технологии гарантированного предотвращения пожаров.

Анализ научных публикаций отечественных и зарубежных ученых свидетельствует о том, что в настоящее время накоплен уже значительный опыт и теоретические основы по исследованию проблемы пожарной опасности грузоперевозок, особенностям возникновения пожаров при перевозке опасных грузов, а также тушению таких пожаров [3–5], что является ценной базой при разработке системы дистанционного оценивания пожарного риска транспортировки легковоспламеняющихся веществ и материалов железнодорожным транспортом.

В течение последних десятилетий железнодорожный транспорт по грузообороту на территории Российской Федерации значительно преобладает над остальными видами транспорта (рис. 1).

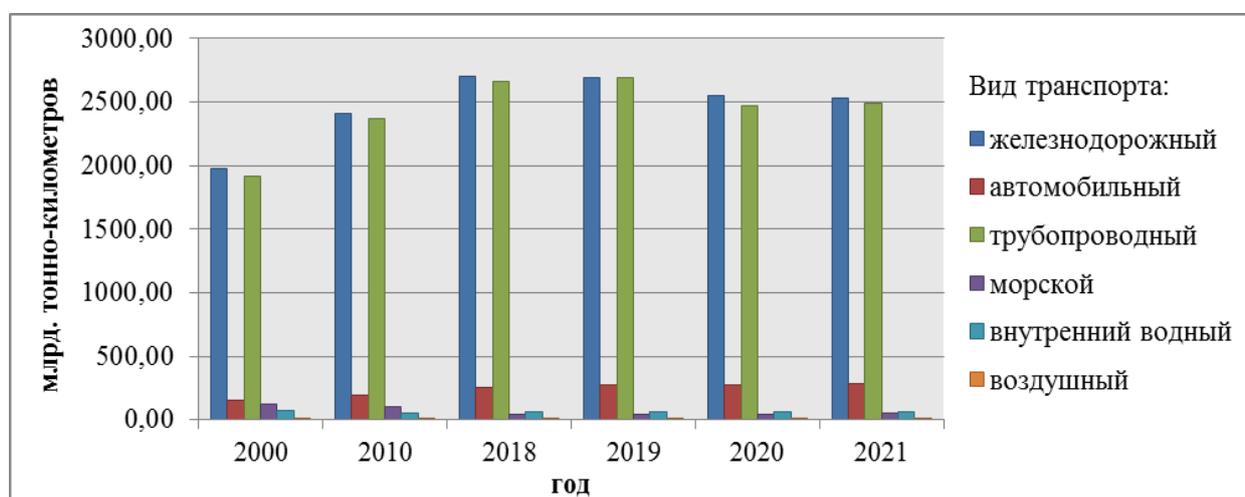


Рис. 1. Грузооборот по видам транспорта (в млрд тонно-километров)

В связи с участвовавшими случаями возникновения ЧС на грузовых железнодорожных составах [6] возрастает значимость углубленного исследования, оценки и разработки новых системных подходов и механизмов управления безопасностью и устойчивостью функционирования грузового железнодорожного транспорта в условиях ЧС, что подтверждает актуальность проблемы и значимость научных разработок в этом направлении. В условиях резкой диверсификации нефти, нефтепродуктов и других взрывопожароопасных грузов повышается важность научных разработок в данном направлении. Анализ статистических данных о техногенных авариях с участием опасных грузов не только на железнодорожном транспорте, но и в морских портах, складах хранения легковоспламеняющихся веществ и материалов подтверждает гипотезу о влиянии факторов средств транспортирования и пожарной опасности самих грузов на вероятность возникновения ЧС [1, 6, 8]. Наиболее отрицательным фактором перевозочного процесса опасных грузов является высокий уровень пожарного риска.

С целью раннего обнаружения первичных признаков и предпосылок возгорания или взрыва посредством функционирования системы дистанционного оценивания пожарного риска транспортируемых железнодорожным транспортом опасных грузов предлагается отслеживать параметры подвижного состава (ПС) и опасных грузов, при изменении которых до критических значений резко возрастает вероятность возникновения ЧС.

Метеоусловия могут увеличивать вероятность возникновения ЧС, связанных с самовозгоранием или взрывами опасных грузов при определенных условиях на конкретном участке транспортировки опасных грузов [9]. Рассматриваются метеоусловия, действия которых являются стабильным на заданном интервале времени контроля: осадки, влажность, температура воздуха, направление ветра. Проведенные исследования показали необходимость обязательного учета метеоусловий на маршруте следования грузового состава.

Научная новизна заключается в разработке новой методики снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов, отличающейся от известных использованием адаптивной технологии гарантированного предотвращения пожаров на ранних этапах их возникновения и развития. Реализация сформулированных предложений возможна на основе комплексной мониторинговой системы обеспечения контроля и дистанционного оценивания параметров опасных грузов без остановки железнодорожного состава, что исключает существенные временные потери при перевозочном процессе [8, 10]. Определены следующие задачи исследования:

- проанализировать причины возникновения аварийных ситуаций, пожаров, взрывов на объектах железнодорожной инфраструктуры и подвижном составе;
- обосновать необходимость оборудования объектов железнодорожной инфраструктуры разработанной системой дистанционного оценивания пожарного риска.

Модели и методы исследования

В ходе исследования был проведен углубленный анализ и поиск методов и возможностей снижения рисков ЧС на железнодорожном транспорте при перевозке опасных грузов [11, 12]. Было установлено, что к наиболее эффективным и экономически рациональным методам снижения пожарных рисков могут быть отнесены методы и способы, основанные на раннем обнаружении признаков и предпосылок к возникновению ЧС [10, 12]. Для обоснования данного утверждения были использованы теоретико-эмпирические методы и методы комплексного анализа и обработки известных статистических данных о рисках при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов.

Условиями, способствующими возрастанию риска возгорания или взрыва, могут служить повышения выше критической температуры элементов ПС, вызванные нарушением их функционирования. Груз может изменять свои свойства, вероятность взрыва или пожара может увеличиваться вследствие неправильной загрузки или распределения груза, а также вибрации, которая может возникать из-за нарушения правильного функционирования элементов ПС. Для контроля параметров опасного груза и обнаружения отклонений от требуемых значений используется не один датчик, а комбинированная система датчиков, работа которых в совокупности значительно увеличивает вероятность обнаружения факторов, способствующих возникновению ЧС. При этом различные характеристики как самого груза, так и ПС, и погодные условия, меняющиеся при движении, требуют дополнительной настройки датчиков (одним из важнейших среди параметров является чувствительность датчика).

В зависимости от участка следования ПС информация с пункта предварительного и основного контроля может передаваться как по кабельным, так и по беспроводным каналам связи, для чего могут быть задействованы радиорелейные линии, линии сотовой и спутниковой связи. Для корректного функционирования дистанционных зондирующих устройств производится последовательная настройка параметров датчика по информации, поступающей с контрольных пунктов зон мониторинга. При достижении критических значений параметров опасных грузов тревожный сигнал поступает в центр обработки данных и принятия решений оператора перевозок (ЦОДПР ОП). Работает система, способная идентифицировать признаки пожароопасного состояния до возникновения горения. Для решения новой задачи по определению вероятности возникновения ЧС используется метод размытой классификации [12].

Неотъемлемой частью совершенствования научно-методического аппарата и обоснования применения аппаратно-программного комплекса диагностики и прогнозирования уровня пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов (АПКДП ПР) является методика снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов.

Предлагаемая методика состоит из следующих основных этапов:

1. На сортировочной станции формируется железнодорожный состав с вагонами, заполненными опасными грузами.

2. Происходит сбор информации об опасных грузах, перевозимых железнодорожным составом. На этом этапе проводится также сбор и анализ (с использованием баз данных) пожароопасных характеристик грузов.

3. Происходит сбор информации о типе и технических характеристиках железнодорожных вагонов, в которых размещаются опасные грузы с помощью сканирования идентификационных кодов, расположенных на вагонах.

4. Осуществляется сбор информации о маршруте следования грузового железнодорожного состава и пунктах назначения отдельных вагонов с опасными грузами (определяются группы вагонов, например, вагоны № 001-005 следуют до пункта «А», вагоны № 006-015 следуют до пункта «Б» и т.д.).

5. Формируется цифровая база данных (ЦБД) о маршруте следования железнодорожного состава, номерах, типах и пунктах назначения отдельных вагонов с опасными грузами, типах опасных грузов и их количестве в соответствующих вагонах.

6. Происходит сохранение цифровой базы данных в памяти бортового компьютера локомотивной бригады (для оперативного реагирования и получения информации о составе и грузах).

7. Осуществляется отправка копии базы данных в ЦОДПР ОП.

8. На пункте предварительного контроля (ППК) происходит дистанционная идентификация параметров железнодорожного состава. Отправляется сигнал активации выборки базы данных в ЦОДПР ОП. Происходит активация системы контроля параметров ПС и системы контроля метеорологических параметров. После чего осуществляется дистанционная идентификация и контроль технического состояния вагонов с опасными грузами.

9. Результаты дистанционного контроля технического состояния вагонов с опасными грузами и результаты контроля метеорологических параметров отправляются в ЦОДПР ОП. Формируется и отправляется сигнал активации системы контроля параметров пожарной опасности грузов на пункт основного контроля (ПОК).

10. В ЦОДПР ОП принимают сигнал активации и выборки информации базы данных о типах вагонов и типах опасных грузов в них для идентифицированного железнодорожного состава. Происходит прием информации с ППК с результатами дистанционного контроля технического состояния вагонов с опасными грузами и результатов контроля метеорологических параметров на пути следования железнодорожного состава.

11. Осуществляется совместная обработка информации с результатами дистанционного контроля технического состояния вагонов с опасными грузами, результатами метеорологического контроля на пути следования железнодорожного состава и информации о типе и пожарной опасности перевозимых в соответствующих вагонах опасных грузов. Формируется, по результатам обработки информации, блок управляющих сигналов для конфигурирования и настройки рабочих параметров датчиков раннего распознавания признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого индивидуально для каждого вагона с опасным грузом.

12. В ПОК происходит активация системы дистанционного контроля параметров пожарной опасности грузов в железнодорожном составе. Прием от ЦОДПР ОП блока управляющих сигналов для конфигурирования и признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого индивидуально для каждого вагона с опасным грузом. Осуществляется дистанционный контроль и сохранение информации в памяти

системы дистанционного контроля параметров пожарной опасности грузов об уровне зафиксированных признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого для соответствующих вагонов. Сведения об уровнях зафиксированных признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого для соответствующих вагонов отправляются в ЦОДПР ОП.

13. В ЦОДПР ОП происходит прием сведений об уровнях зафиксированных признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого для соответствующих вагонов. Начинается совместная обработка информации об уровнях зафиксированных признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого для соответствующих вагонов с результатами дистанционного контроля технического состояния данных вагонов, результатами метеорологического контроля на пути следования железнодорожного состава и информации о типе и пожарной опасности перевозимых в соответствующих вагонах опасных грузов. Происходит формирование и сохранение результатов обработки данных (при этом происходит определение и присвоение уровня опасности ЧС каждому вагону, выводится алгоритм дальнейших действий; μ_1 – уровень опасности ЧС низкий, возможно дальнейшее движение без ограничений, $\mu_1 \in [0,85-1]$; μ_2 – уровень опасности ЧС средний, необходим контроль состояния груза на ближайшей остановке по маршруту следования состава, $\mu_2 \in [0,5-0,85]$; μ_3 – уровень опасности ЧС высокий, необходимо направить состав на запасные пути в безопасное место для немедленного контроля состояния груза), $\mu_3 \in [0-0,5]$.

Математическую основу для принятия решения о принадлежности объекта и складывающейся ситуации к какому-либо классу опасности составили методы размытой классификации, позволяющие структурировать информацию об объектах с учетом нечеткости исходных данных.

Результаты исследования и их обсуждение

Методика снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов может быть реализована на основе системы поддержки принятия решений, структурная схема которой изображена на рис. 2.

Предложенный алгоритм и его реализация возможна только на основе аппаратно-программного комплекса системы поддержки принятия решений. В настоящее время в рамках исследования ведется разработка структурно-функциональной схемы аппаратно-программного комплекса диагностики и прогнозирования уровня пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов (АПКДП ПР).

Теоретическая значимость работы заключается в том, что методика позволяет осуществлять оперативное определение уровня опасности ЧС. Разработанная методика учитывает метеорологические параметры, влияющие на опасность возникновения пожара, а также характеристики опасного груза и ПС в автоматическом режиме, что позволяет должностным лицам принимать решение о необходимости применения мер для предотвращения возможного ущерба при возникновении ЧС, в том числе вблизи потенциально важных объектов, путей, туннелей, мостов и др.

Предложенная структурно-функциональная схема и алгоритмическое обеспечение системы поддержки принятия решений по реализации комплексной методики снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов позволяет минимизировать временные затраты в системах диспетчерского управления на принятие решений при реагировании на дискретное изменение значений параметров текущего состояния опасного груза. АПКДП ПР может быть использован при мониторинге пожарной опасности на различных объектах.

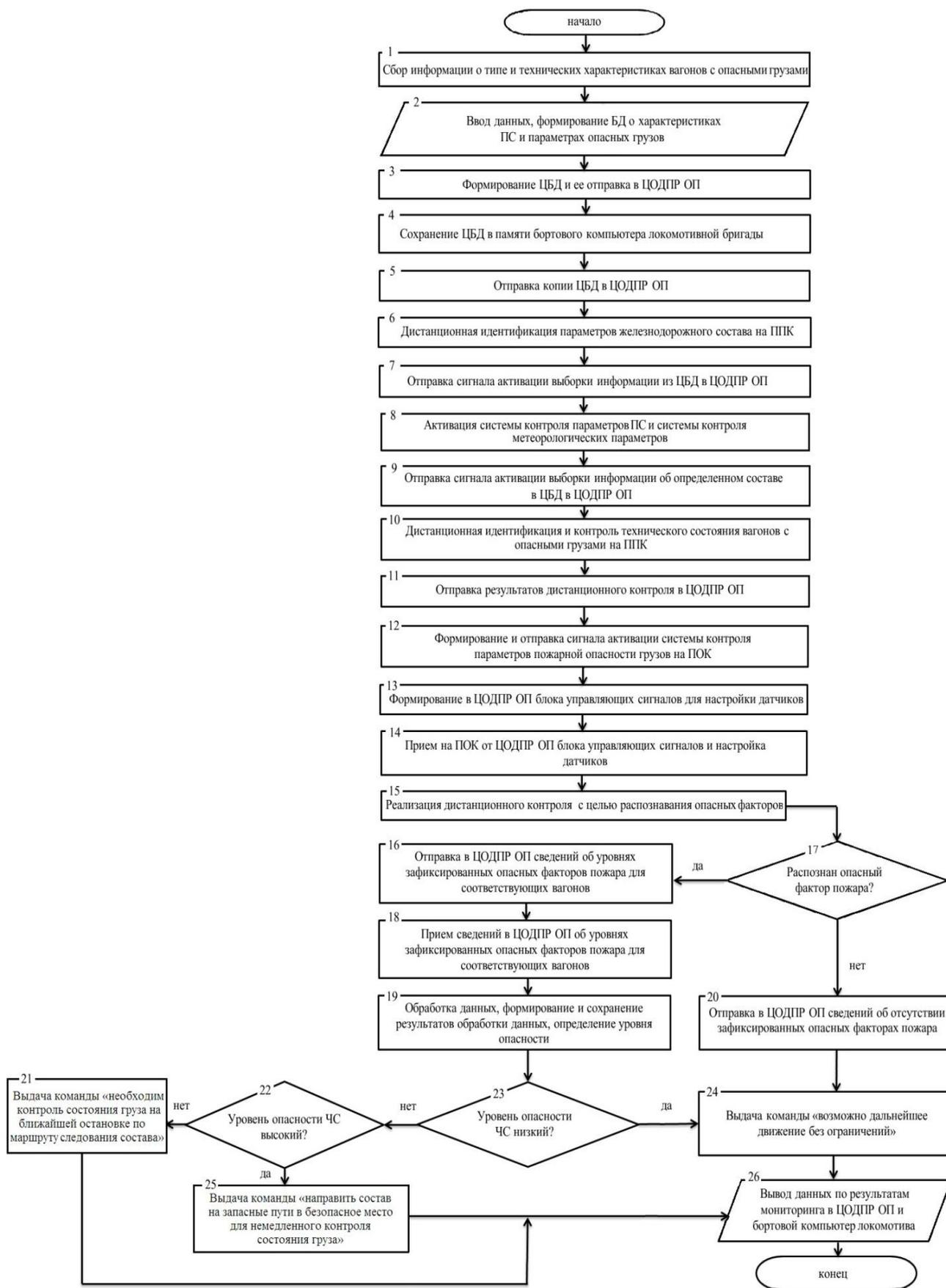


Рис. 2. Структурная схема алгоритма

Заключение

Грузовой состав – источник повышенной опасности. Это связано с возможными пожарами, взрывами, крушениями и авариями грузовых поездов при погрузке и в процессе транспортировки опасных грузов. Статистические данные последних лет свидетельствуют о значительных разрушениях, заражению местности и поражению токсичными веществами людей в результате аварийных ситуаций при транспортировке по железным дорогам опасных грузов. Проведенный анализ функционирования АПКДП ПР показал, что предлагаемая система и алгоритм ее функционирования способны корректно решать стоящие перед ней задачи. Предложена архитектура аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего работу системы поддержки принятия решений. Разработанная система и алгоритм ее функционирования позволяет снизить пожарную опасность грузоперевозок. Данная система является универсальной, она не привязана к конкретным опасным грузам с определенными характеристиками. При реализации предложенной методики разработанного алгоритма и структурной схемы дистанционного контроля пожарного риска цель исследования может быть достигнута в полном объеме.

Список источников

1. Forecasting fire risk with machine learning and dynamic information derived from satellite vegetation index time-series / Y. Michael [et al.] // *Science of the total environment*. 2021. Т. 764. С. 142.
2. Shterev D. Safety problems in maritime transport of cargoes which are able to liquefy // *Trans motauto world*. 2021. Т. 6. № 1. С. 27–29.
3. Risk-based underground pipeline safety management considering corrosion effect / S. Shin [et al.] // *Journal of hazardous materials*. 2018. С. 279–289.
4. Risk assessment for rail freight transport operations / L. Szacillo [et al.] // *Eksploracja i niezawodnosc*. 2021. Т. 23. № 3.
5. Королева Л.А. Концептуальные основы обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2019. 423 с.
6. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: стат. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
7. Анардович С.С., Руш Е.А. Оценка ущербов от чрезвычайных ситуаций техногенного характера на железнодорожном транспорте // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2020. № 2 (66). С. 121–128.
8. Леонтьева М.С., Актерский Ю.Е. Анализ комплексной проблемы и основных факторов пожарного риска при перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов железнодорожным транспортом // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2022. № 1 (61). С. 108–116.
9. Ludvigsen J., Klæboe R. Extreme weather impacts on freight railways in Europe // *Natural hazards*. 2014. Т. 70. № 1. С. 767–787.
10. Леонтьева М.С. Основные ресурсы и механизмы снижения пожарного риска железнодорожных перевозок опасных грузов // *Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации*. М.: Академия ГПС МЧС России, 2022. С. 326–331.
11. Фалеев М.И. Программно-целевой метод решения проблем снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций // *Управление рисками чрезвычайных ситуаций*. 2001. С. 26–34.
12. Шаровар Ф.И. Пожаропредупредительная автоматика. Теория и практика предотвращения пожаров от маломощных загораний. М.: Специнформатика-Си, 2013. 555 с.

References

1. Forecasting fire risk with machine learning and dynamic information derived from satellite vegetation index time-series / Y. Michael [et al.] // Science of the total environment. 2021. T. 764. S. 142.
2. Shterev D. Safety problems in maritime transport of cargoes which are able to liquefy // Trans motauto world. 2021. T. 6. № 1. S. 27–29.
3. Risk-based underground pipeline safety management considering corrosion effect / S. Shin [et al.] // Journal of hazardous materials. 2018. S. 279–289.
4. Risk assessment for rail freight transport operations / L. Szacillo [et al.] // Eksploatacja i niezawodnosc. 2021. T. 23. № 3.
5. Koroleva L.A. Konceptual'nye osnovy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti pri zheleznodorozhnyh perevozkah opasnyh gruzov: dis. ... d-ra tekhn. nauk. SPb., 2019. 423 s.
6. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: stat. sb. Balashiha: FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2022. 114 s.
7. Anardovich S.S., Rush E.A. Ocenka ushcherbov ot chrezvychajnyh situacij tekhnogenogo haraktera na zheleznodorozhnom transporte // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. 2020. № 2 (66). S. 121–128.
8. Leont'eva M.S., Akterskij Yu.E. Analiz kompleksnoj problemy i osnovnyh faktorov pozharnogo riska pri perevozkah legkovosplamenyayushchihsya veshchestv i materialov zheleznodorozhnym transportom // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 1 (61). S. 108–116.
9. Ludvigsen J., Klæboe R. Extreme weather impacts on freight railways in Europe // Natural hazards. 2014. T. 70. № 1. S. 767–787.
10. Leont'eva M.S. Osnovnye resursy i mekhanizmy snizheniya pozharnogo riska zheleznodorozhnyh perevozkok opasnyh gruzov // Pozharotushenie: problemy, tekhnologii, innovacii. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2022. S. 326–331.
11. Faleev M.I. Programmno-celevoj metod resheniya problem snizheniya riskov i smyagcheniya posledstvij chrezvychajnyh situacij // Upravlenie riskami chrezvychajnyh situacij. 2001. S. 26–34.
12. Sharovar F.I. Pozharopredupreditel'naya avtomatika. Teoriya i praktika predotvrashcheniya pozharov ot malomoshchnyh zagoraniy. M.: Specinformatika-Si, 2013. 555 s.

Информация об авторах:

Леонтьева Мария Сергеевна, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: igps19@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9083-011X>

Information about the authors:

Leonteva Maria S., postgraduate student of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: igps19@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9083-011X>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 11.10.2022; одобрена после рецензирования: 25.10.2022; принята к публикации: 02.11.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 11.10.2022; approved after review: 25.10.2022; accepted for publication: 02.11.2022

Научная статья

УДК 004.942

МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

✉ Заводсков Геннадий Николаевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ ncuks73@mail.ru

Аннотация. Одной из актуальных проблем, возникающих при принятии решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах водного транспорта, является проблема разрешения противоречия между сложностью процессов принятия решений, количеством и объемом преобразуемой информации и существующей информационной технологией, ограниченной возможностями должностных лиц центра управления в кризисных ситуациях по ее переработке. Одной из частных задач, способствующих решению данной проблемы, является задача снижения количества ошибок должностными лицами при принятии решений.

Для решения этой задачи в статье разработана модель поддержки принятия решений по предотвращению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах водного транспорта. Использование этой модели позволит снизить вероятность принятия ошибочных решений должностными лицами по кругу своих обязанностей.

Ключевые слова: безопасность людей на водном транспорте, система поддержки принятия решений, модель и алгоритм поддержки принятия решения, управление риском

Для цитирования: Заводсков Г.Н. Модель поддержки принятия решений по управлению рисками возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах водного транспорта // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 164–173.

DECISION SUPPORT MODEL FOR RISK MANAGEMENT AND EMERGENCY RELIEF AT WATER TRANSPORT FACILITIES

✉ Zavadskov Gennady N.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ ncuks73@mail.ru

Abstract. One of the urgent problems that arise when making decisions on the prevention and elimination of emergency situations at water transport facilities is the problem of resolving the contradiction between the complexity of decision-making processes, the amount and volume of information being converted, and the existing information technology, which is limited by the capabilities of officials of the control center in crisis situations, its processing. One of the particular tasks contributing to the solution of this problem is the task of reducing the number of errors by officials when making decisions.

To solve this problem, the article developed a decision support model for the prevention and elimination of emergencies at water transport facilities. The use of this model will reduce the likelihood of making erroneous decisions by officials in the range of their duties.

Keywords: safety of people in water transport, decision support system, decision support model and algorithm, risk management

For citation: Zavodskov G.N. Decision support model for risk management and emergency relief at water transport facilities // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 4 (64). P. 164–173.

Введение

Аварии и чрезвычайные ситуации (ЧС) на водном транспорте возникают главным образом в силу негативного воздействия человеческих факторов (ошибки людей) и природных явлений (штормов, сильного тумана и т.п.). Статистика показывает, что в 30–35 % аварий на водном транспорте гибнут люди [1], а обеспечение безопасности людей на транспорте является одной из приоритетных задач государственной политики Российской Федерации. Поэтому возникает необходимость для разработки превентивных мероприятий, позволяющих снизить аварийность и обеспечить безопасность людей.

В соответствии с нормативными документами, регламентирующими работу МЧС России по вопросам предупреждения и ликвидации последствий ЧС, в том числе и на водном транспорте [2], на центры управления в кризисных ситуаций (ЦУКС) на соответствующем уровне в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС возложены основные задачи по координации деятельности органов управления, сил и средств по предупреждению и ликвидации ЧС, а так же осуществление мер информационной поддержки принятия решений в области защиты населения и территорий от ЧС. Поддержка принятия решений должностных лиц (ДЛ) ЦУКС по предупреждению и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта (ОВТ) является одной из наиболее ответственных функций управления, которая требует обработки большого объема информации в условиях дефицита времени и неопределенности обстановки и невозможна без автоматизации поддержки принятия решений.

Управление рисками (УР) возникновения аварий и ЧС на ОВТ осуществляется на основании принятия решений по предупреждению и ликвидации ЧС лицом, принимающим решение (ЛПР). В органах управления МЧС России ЛПР являются ДЛ ЦУКС. Решения ДЛ принимаются на основе оценки обстановки [3], оценки рисков возникновения ЧС [4–6], собственного субъективного опыта и интуиции ДЛ. Под УР понимается целенаправленная деятельность, основанная на оценке риска по реализации наилучшего из возможных способов уменьшения рисков до приемлемого уровня при заданных ограничениях на ресурсы и время [7].

Однако субъективный опыт и интуиция ДЛ могут приводить к ошибочным решениям. Поэтому тема статьи, направленная на снижение количества ошибок при принятии решений, является актуальной.

Цель работы состоит в снижении аварийности на водном транспорте за счет повышения эффективности процессов поддержки принятия решений по УР.

Результаты исследования и их обсуждение

Важнейшей составной частью управления рисками является оценка риска. Процессы, из которых складывается оценка риска ЧС, в том числе и на водном транспорте, и цели этих процессов определены в нормативных документах [5, 6] (рис. 1).

Конечной целью оценки риска ЧС является поддержка принятия решения (ППР) ДЛ ЦУКС по управлению рисками возникновения и ликвидации ЧС на ОВТ.



Рис. 1. Оценка риска на водном транспорте

Остановимся на анализе рисков как наиболее важном этапе оценки риска. При анализе рисков нужно учитывать различные факторы (рис. 2). На практике эти факторы принято учитывать на качественном уровне. Учет их на количественном уровне позволит повысить эффективность принимаемых решений по УР.



Рис. 2. Факторы, учитываемые при анализе рисков

Для количественного анализа и оценки рисков на ОВТ могут быть использованы различные подходы. Одним из таких подходов является FSA (Руководство по формальной безопасности) [8, 9]. При использовании данного подхода риск оценивается как произведение частоты на ущерб от аварии. Под ущербом понимается гибель людей (вред здоровью) и материальные потери на ОВТ. При этом различают приемлемый и непомерно большой риск.

Приемлемым (допустимым) уровнем риска принято считать $1 \cdot 10^{-6}$ 1/год, что означает гибель в течение года не более одного человека из 10^6 . При попадании в зону приемлемого риска мероприятия по его снижению не проводятся, риск считается удовлетворяющим общество. Значение риска больше $1 \cdot 10^{-4}$ 1/год (за год погибает не менее одного человека из 10^4) считается непомерно большим (неприемлемым).

Еще один подход (вероятностный) предлагает оценивать риск R как разницу между нагрузкой S и уязвимостью R . Предельное состояние системы описывается условием:

$$S - R = m < 0,$$

где m – предельно допустимый уровень риска.

Риск, характеризующий ограниченное состояние системы (R_e), рассчитывается как вероятность этой разности:

$$R_e = \Phi\left(\frac{-m}{\sigma_m}\right), m > 0,$$

где Φ – функция Лапласа; σ_m – СКО (среднеквадратичное отклонение).

Наиболее подходящим подходом для оценки риска на ОБТ является подход, при котором величина риска ЧС на объектах водного транспорта рассчитывается как математическое ожидание (МО) ущерба за интервал времени Δt :

$$M[W\Delta] = a_{\text{ЧС}}(\Delta t) \bar{W} = \sum_{j=1}^m a_{\text{ЧС}j}(\Delta t) \bar{W}_j,$$

где $\bar{W} = \int_0^{\infty} wf(w)dw$ – средний ущерб от ЧС на ОБТ; $\bar{W}_j = \int_{w^{\text{ЧС}j-j}}^{w^{\text{ЧС}j}} wf(w)dw$ – средний ущерб

от ЧС j -го класса по степени тяжести на ОБТ; $a_{\text{ЧС}}(\Delta t)$ – МО числа возможных ЧС на объектах за интервал времени Δt .

Риск в данном случае является интегральным показателем вероятности наступления события (ЧС на объектах водного транспорта) и связанного с ним ущерба. В соответствии с нормами, определенными в работе [10], ущерб от ЧС определяется размером материальных потерь и вреда, причиненного жизни и здоровью людей, произошедших вследствие ЧС на водном транспорте.

Вероятность возникновения неблагоприятного события можно вычислить с помощью МО:

$$P = \frac{M(U)}{V};$$

$$P = \frac{M(N)}{N},$$

где $M(U)$ – МО величины ущерба объекта водного транспорта; V – количество элементов объекта водного транспорта; $M(N)$ – МО потерь персонала объекта (полная или частичная утрата трудоспособности).

Поскольку условия неопределенности, характерные для аварий и ЧС на водном транспорте, практически не поддаются количественной оценке, здесь целесообразно применять методы интеллектуального анализа данных. Результаты проведенного анализа будут являться исходными данными для оценки рисков. Результаты оценки рисков будут являться основой принятия решений. Указанные результаты позволяют осуществить выбор необходимой стратегии управления и минимизировать вероятность принятия ошибочного решения [11–13].

Для системы поддержки принятия решений (СППР) по снижению аварийности на водном транспорте разработана модель, структура которой изображена на рис. 3.

Данная модель носит комплексный характер и состоит из модели реализации процедур анализа и оценки решений ДЛ по предупреждению и ликвидации ЧС на ОБТ, модели предметной области (ПрО) предотвращения и ликвидации ЧС на ОБТ и интеллектуального тренажера.

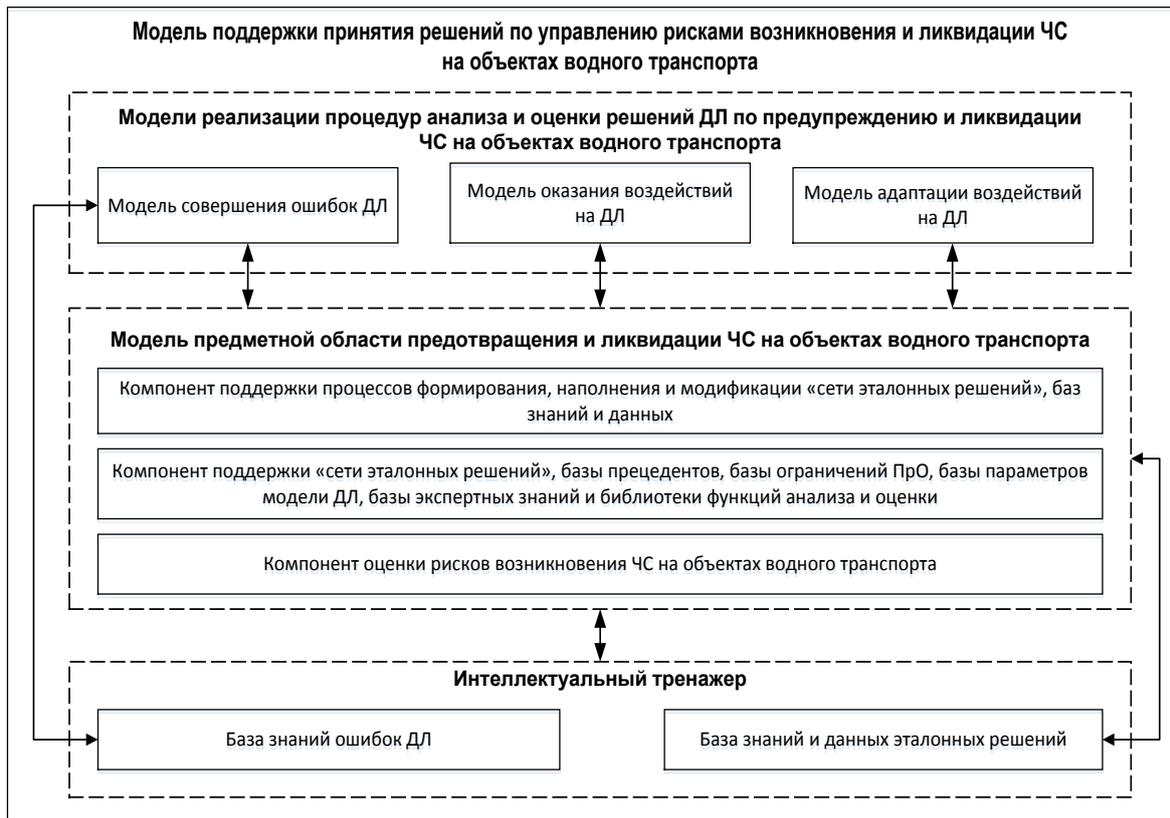


Рис. 3. Структура модели

Модели реализации процедур анализа и оценки решений ДЛ по предупреждению и ликвидации ЧС на ОВТ состоят из модели совершения ошибок ДЛ, модели оказания воздействия и модели адаптации воздействий на ДЛ (подробное описание данных моделей проведено в рамках исследований ранее [4, 14]). Отметим, что они основаны на реализации автоматизированных процедур воздействия на ДЛ и позволяют учитывать обширность исходных данных и условий, которые оказывают влияние на формирование адекватного воздействия и могут быть использованы при исследовании процесса ППР в процессе УР и ликвидацией ЧС.

Модель предметной области предотвращения и ликвидации ЧС на ОВТ состоит из трех компонентов: компонента поддержки процессов формирования, наполнения и модификации «сети эталонных решений», баз знаний и данных, компонента поддержки «сети эталонных решений», базы прецедентов, базы ограничений ПрО, базы параметров модели ДЛ, базы экспертных знаний и библиотеки функций анализа и оценки, компонента оценки рисков возникновения ЧС на ОВТ.

Базы знаний, данных эталонных решений пополняются новыми сведениями об авариях и ЧС (хронология действий ДЛ, сведения о привлекаемых силах и средствах, сведения о ходе проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ и т.д.) [15], применение которых обеспечивает усиление интеллектуальных возможностей ДЛ при принятии решений.

Важную роль в достижении минимизации вероятности допускаемых ошибок играет интеллектуальный тренажер (ИТ). Он предназначен для обучения и проведения тренировок ДЛ, что, в свою очередь, позволит повысить компетентность ДЛ в данной предметной области и снизить вероятность принятия ошибочных решений ДЛ по кругу своих функциональных обязанностей.

ИТ состоит из двух элементов базы: знаний ошибок ДЛ и базы знаний, данных эталонных решений.

СППР, в которой реализованы автоматизированные процедуры воздействия, осуществляет выявление ошибок [4], которые были совершены ДЛ (рис. 4), и они вносятся в базу знаний ошибок ДЛ.

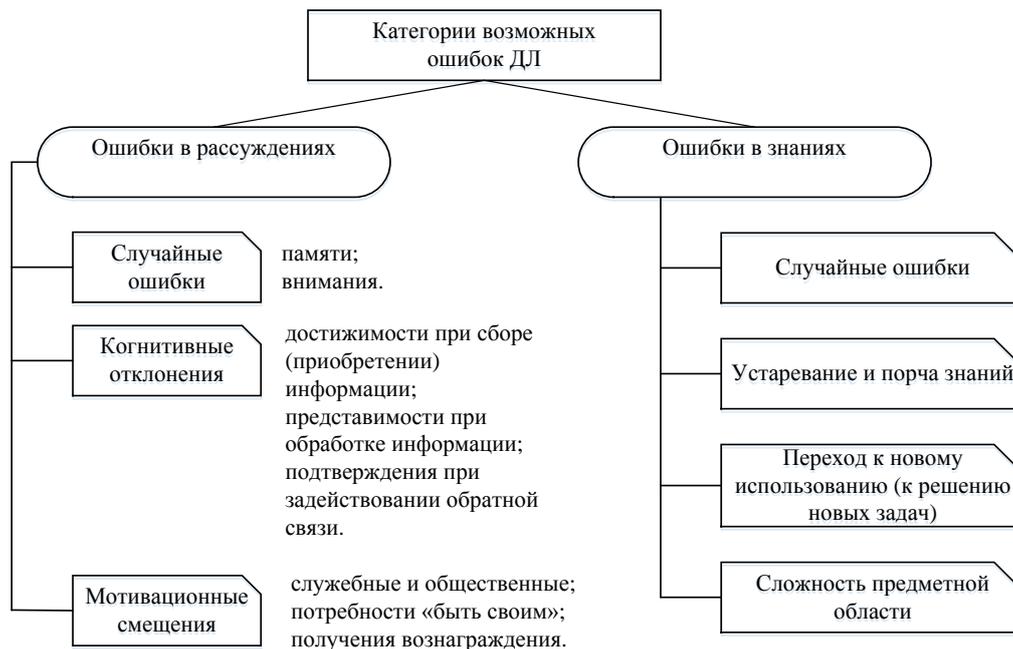


Рис. 4. Категории возможных ошибок ДЛ

В данной системе предполагается наличие двух ключевых подсистем, характерных для интеллектуальных систем – подсистема накопления и хранения информации и подсистема формирования вывода.

В процессе функционирования СППР предполагается, что ЛПР обращается к системе с соответствующим запросом. В то же время существует необходимость в осуществлении накопления и обработки соответствующей информации. Реализация данных функций возложена на эксперта и инженера по знаниям.

При разработке модели необходимо определить три множества, которые являются классическими при использовании функционального (процессного) способа описания системы:

1) Множество входных параметров – $X=\{X_i\}$. Данное множество представляет собой запросы к системе, формируемые ДЛ. В качестве элементов данного множества также могут выступать и ответы ЛПР, если этого требует решаемая задача.

2) Множество выходных параметров – $Y=\{Y_i\}$. Элементами данного множества могут являться выводы, решения, вырабатываемые при решении задач, предложения для ЛПР и т.д.

3) Множество моделей – $F=\{F_i\}$. Данные модели реализуют в СППР функции поддержки [16].

Исходя из особой роли знаний в СППР, важнейшим вопросом при построении модели является вопрос структуризации самих знаний в предметной области предупреждения и ликвидации ЧС на водном транспорте.

При этом необходимо определить сами знания, порядок их циркуляции (движения) в системе (потoki знаний). Процесс, позволяющий это осуществить, называется структуризацией знаний.

Предлагаемая модель позволяет осуществить формализацию предложений по структуре автоматизированной системы поддержки принятия управленческих решений в подразделениях МЧС России при предупреждении и ликвидации ЧС на транспорте.

Рассмотреть все возможные варианты реализации системы можно, основываясь на методе морфологического анализа. Результатом такого анализа будет морфологическая модель системы [16–19].

В рамках разработки модели предлагается осуществить выбор рациональной модели представления знаний системы. Данный выбор предполагает выделение соответствующих классификационных признаков и критериев, позволяющих осуществить выбор.

Предлагаемые классификационные признаки и их возможные значения представлены на рис. 5.

Объективное множество данных признаков предопределяет необходимость формирования соответствующего интегрального показателя для выбора варианта модели представления знаний $L_{S_{пз}}$.

При этом необходимо выделить сами квалификационные признаки P_i , весовой коэффициент каждого признака – a_i и значения признаков – k_{ij} .

$$L_{S_{пз}} = \sum_{i=1}^N a_i \sum_{j=1}^M k_{ij} .$$

Очевидно, что самой сложной задачей при выборе структуры базы знаний и, следовательно, вычислении комплексного показателя является определение весового коэффициента каждого признака a_i . Формальных методов получения значений этих весовых коэффициентов не существует, поэтому получение данных коэффициентов предполагается осуществлять методом экспертных оценок, применяя соответствующие методы взвешивания экспертных оценок.

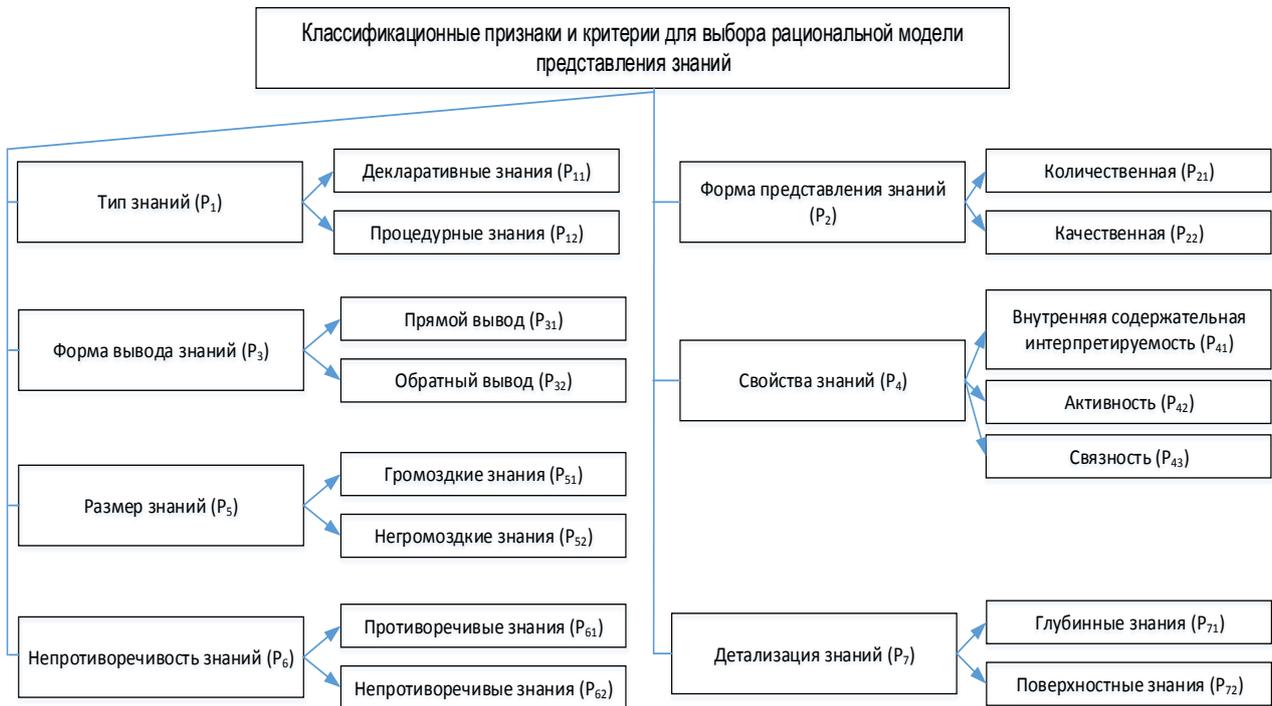


Рис. 5. Классификационные признаки и критерии для выбора рациональной модели представления знаний

Проведенный анализ позволяет определить основные требования к разрабатываемой системе и предложения по структуре и порядку ее функционирования.

Заключение

УР возникновения аварий и ЧС на ОВТ основано на оценке риска и неотъемлемо связано с принятием решений по его минимизации.

Использование предлагаемой комплексной модели позволит выявить несоответствие принимаемых ДЛ решений «эталонным решениям», выработать и оказать воздействие на ДЛ с целью выбора им правильной траектории принятия решения, повысить компетентность ДЛ ЦУКС в области предупреждения и ликвидации ЧС на ОВТ, основываясь на повышении уровня навыков и умений ДЛ за счет алгоритма обучения с подкреплением и ИТ.

Существенной задачей является формирование, наполнение и поддержание в актуальном состоянии баз прецедентов баз ограничений предметной области, баз знаний, данных и моделей, которые будут являться основой «эталонных решений».

Список источников

1. Груздев М.Н. Классификация, статистика и основные причины морских происшествий // Podlodka.info: подводный флот России. URL: podlodka.info (дата обращения: 10.10.2022).
2. Методические рекомендации по организации деятельности центров управления в кризисных ситуациях территориальных органов МЧС России (утв. зам. министра МЧС России генерал-полковником В.Н. Яцуценко от 8 нояб. 2021 г.) // МЧС России. URL: <https://mchs.gov.ru> (дата обращения: 16.10.2022).
3. Наставление по организации управления и оперативного (экстренного) реагирования при ликвидации чрезвычайных ситуаций (утв. протоколом заседания Правительственной комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности от 28 мая 2010 г. № 4). М., 2010.
4. Щетка В.Ф., Заводсков Г.Н. Модель ошибок должностных лиц при принятии решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 106–118.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. Risk management. Risk assessment techniques // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170125> (дата обращения: 16.10.2022).
6. ГОСТ Р ИСО 31000–2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. Risk management. Principles and guidelines // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170125> (дата обращения: 16.10.2022).
7. МЧС России. URL: <https://mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/630> (дата обращения: 18.10.2022).
8. Руководство по формальной оценке безопасности (ФОБ) для использования в процессе принятия решений в ИМО = Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process. СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2011. 138 с.
9. GUIDELINES FOR THE APPLICATION OF THE HUMAN ELEMENT. ANALYSING PROCESS (HEAP) TO THE IMO RULE-MAKING PROCESS // International maritime organization. MSC-MEPC.2/Circ.13. 2013. 8 July. URL: <https://www.cdn.imo.org/HumanElement/Documents> (дата обращения: 18.10.2022).
10. ГОСТ Р 22.10.01–2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Оценка ущерба. Термины и определения (утв. и введен в действие приказом Росстандарта от 10 сент. 2021 г. № 948-ст). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
11. Адаптивная система поддержки деятельности центров управления в кризисных ситуациях: монография / Н.Г. Топольский [и др.]. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2014. 151 с.

12. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учеб. пособие. М.: Радиотехника, 2009. 392 с.
13. Бардулин Е.Н., Иванов А.Н., Петрова И.В. Особенности принятия управленческих решений в условиях неопределенности и риска // Экономика и управление народным хозяйством. 2018. № 1. С. 54–60.
14. Заводсков Г.Н. Модель поддержки принятия решений для оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах водного транспорта // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 3 (63). С. 122–133.
15. Заводсков Г.Н. Методика поддержки принятия решений должностных лиц по предотвращению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах водного транспорта на основе реализации автоматизированных процедур воздействия // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 163–171.
16. Prot O., Mercere G. Initialization of gradient-based optimization algorithms for the identification of structured state-space models // 18th World Congress of international federation of automatic control. IFAC'11. Milano, Italy, 2011.
17. Одрин В.М., Картавов С.С. Морфологический анализ систем. Построение морфологических таблиц. Киев: Наукова думка, 1977. 83 с.
18. Liu Yi. Grey-box identification of distributed parameter systems // Doctoral thesis, automatic control department of signal, sensors and systems. Stockholm, Sweden: Royal institute of technology, 2005.
19. Finaev V.I., Glod O.D. Conceptual model of an adaptive trained control system by beforehand uncertain situational objects // Third European congress on intelligent techniques and soft computing. Aachen, Germany, 1995.

References

1. Gruzdev M.N. Klassifikaciya, statistika i osnovnye prichiny morskikh proisshestvij // Podlodka.info: podvodnyj flot Rossii. URL: podlodka.info (data obrashcheniya: 10.10.2022).
2. Metodicheskie rekomendacii po organizacii deyatelnosti centrov upravleniya v krizisnykh situatsiyah territorial'nykh organov MCHS Rossii (utv. zam. ministra MCHS Rossii general-polkovnikom V.N. Yacucenko ot 8 noyab. 2021 g.) // MCHS Rossii. URL: <https://mchs.gov.ru> (data obrashcheniya: 16.10.2022).
3. Nastavlenie po organizacii upravleniya i operativnogo (ekstrennogo) reagirovaniya pri likvidacii chrezvychajnykh situacij (utv. protokolom zasedaniya Pravitel'stvennoj komissii po preduprezhdeniyu i likvidacii chrezvychajnykh situacij i obespecheniyu pozharnoj bezopasnosti ot 28 maya 2010 g. № 4) // MCHS Rossii. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/1674> (data obrashcheniya: 16.10.2022).
4. Shchetka V.F., Zavadskov G.N. Model' oshibok dolzhnostnykh lic pri prinyatii reshenij po preduprezhdeniyu i likvidacii chrezvychajnykh situacij prirodnoho i tekhnogennogo haraktera // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 1. S. 106–118.
5. GOST R ISO/MEK 31010–2011. Menedzhment riska. Metody ocenki riska. Risk management. Risk assessment techniques // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170125> (data obrashcheniya: 16.10.2022).
6. GOST R ISO 31000–2019. Menedzhment riska. Principy i rukovodstvo. Risk management. Principles and guidelines // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170125> (data obrashcheniya: 16.10.2022).
7. MCHS Rossii. URL: <https://mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/630> (data obrashcheniya: 18.10.2022).
8. Rukovodstvo po formal'noj ocenke bezopasnosti (FOB) dlya ispol'zovaniya v processe prinyatiya reshenij v IMO = Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process. SPb.: ZAO «CNIIMF», 2011. 138 s.
9. GUIDELINES FOR THE APPLICATION OF THE HUMAN ELEMENT. ANALYSING PROCESS (HEAP) TO THE IMO RULE-MAKING PROCESS // International maritime organization.

MSC-MEPC.2/Circ.13. 2013. 8 July. URL: <https://wwwcdn.imo.org/HumanElement/Documents> (data obrashcheniya: 18.10.2022).

10. GOST R 22.10.01–2021. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. Bezopasnost' v chrezvychajnyh situacijah. Ocenka ushcherba. Terminy i opredeleniya (utv. i vveden v dejstvie prikazom Rosstandarta ot 10 sent. 2021 g. № 948-st). Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».

11. Adaptivnaya sistema podderzhki deyatelnosti centrov upravleniya v krizisnyh situacijah: monografiya / N.G. Topol'skij [i dr.]. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2014. 151 s.

12. Vasil'ev V.I., Il'yasov B.G. Intellektual'nye sistemy upravleniya. Teoriya i praktika: ucheb. posobie. M.: Radiotekhnika, 2009. 392 s.

13. Bardulin E.N., Ivanov A.N., Petrova I.V. Osobennosti prinyatiya upravlencheskih reshenij v usloviyah neopredelennosti i riska // Ekonomika i upravlenie narodnym hozyajstvom. 2018. № 1. S. 54–60.

14. Zavodskov G.N. Model' podderzhki prinyatiya reshenij dlya ocenki riskov vozniknoveniya chrezvychajnyh situacij na ob'ektah vodnogo transporta // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 3 (63). S. 122–133.

15. Zavodskov G.N. Metodika podderzhki prinyatiya reshenij dolzhnostnyh lic po predotvrashcheniyu i likvidacii chrezvychajnyh situacij na ob'ektah vodnogo transporta na osnove realizacii avtomatizirovannyh procedur vozdejstviya // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 2. S. 163–171.

16. Prot O., Mercere G. Initialization of gradient-based optimization algorithms for the identification of structured state-space models // 18th World Congress of international federation of automatic control. IFAC'11. Milano, Italy, 2011.

17. Odrin V.M., Kartavov S.S. Morfologicheskij analiz sistem. Postroenie morfologicheskikh tablic. Kiev: Naukova dumka, 1977. 83 s.

18. Liu Yi. Grey-box identification of distributed parameter systems // Doctoral thesis, automatic control department of signal, sensors and systems. Stockholm, Sweden: Royal institute of technology, 2005.

19. Finaev V.I., Glod O.D. Conceptual model of an adaptive trained control system by beforehand uncertain situational objects // Third European congress on intelligent techniques and soft computing. Aachen, Germany, 1995.

Информация об авторах:

Заводсков Геннадий Николаевич, старший преподаватель кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ncuks73@mail.ru

Information about authors:

Zavodskov Gennady N., senior lecturer of the department of system analysis and crisis management of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: ncuks73@mail.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 08.11.2022; одобрена после рецензирования: 24.11.2022; принята к публикации: 09.12.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 08.11.2022; approved after review: 24.11.2022; accepted for publication: 09.12.2022

АВТОРАМ ЖУРНАЛА «ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ТЕХНОСФЕРЕ»

К публикации принимаются исследовательские и обзорные аналитические статьи, отвечающие профилю журнала, представляющие результаты завершеного научного исследования, выполненного на актуальную тему, обладающие научной новизной, имеющие практическое значение и теоретическое обоснование, оформленные в соответствии с требованиями.

Статья не должна быть ранее опубликованной и не поданной для рассмотрения в другие журналы. Все статьи проходят проверку в системе «Антиплагиат».

Статьи **обучающихся магистратуры, курсантов и студентов** принимаются **только в соавторстве с научным руководителем**.

1. Материалы для публикации представляются в редакцию журнала. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб университета ГПС МЧС России – *заключением* об отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией от члена редакционного совета* (коллегии). По желанию прилагается вторая рецензия от специалиста соответствующего профиля, имеющего ученую степень;

б) для авторов **сторонних** организаций – *заклучением* об отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией* от специалиста по соответствующему статье профилю, имеющему ученую степень;

в) статья аспиранта (адъюнкта) или соискателя помимо вышеуказанных документов должна сопровождаться *отзывом научного руководителя*;

г) *электронной версией* статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (версия не ниже 2003). Название файла должно быть следующим:

Автор1, Автор2 – Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов – Анализ существующей практики.doc**;

д) *плата* с адъюнктов и аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

2. Статьи, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь **объем** от **8** до **15** страниц.

3. Оригинальность статей должна быть **не менее 70 %**.

4. Текст статьи должен быть обязательно структурирован по разделам:

Введение

В разделе «Введение» проводится анализ состояния исследуемой проблемы по публикациям отечественных и зарубежных источников, на основании которого обосновывается актуальность исследования, формулируются цель и задачи исследования.

Методы исследования

В разделе описываются применяемые в работе методы исследования, приводятся сведения об объектах исследования, измерительном оборудовании, описываются условия экспериментов и т.д. Возможно указание ссылок на работы с более подробным изложением методов, однако приводимого описания должно быть достаточно для понимания хода исследования.

При использовании стандартных (или известных) методов и процедур лучше сделать ссылки на соответствующие источники, не забывая описать модификации стандартных методов, если таковые имелись. Если же используется собственный новый метод, описание которого нигде ранее не было опубликовано, важно привести все необходимые детали. Если ранее описание метода было опубликовано в известном журнале, можно ограничиться ссылкой.

Допускается и иное название раздела, обусловленное спецификой исследования и подготовленной на его основе статьи, например «Материалы и методы исследования», «Модели и методы исследования», «Теоретические основы и методы расчета».

Результаты исследования и их обсуждение

В разделе в логической последовательности излагаются результаты исследования, которые подтверждаются таблицами, графиками, рисунками. Здесь же проводится анализ и интерпретация полученных результатов, описываются выявленные закономерности, подтверждается достоверность результатов, проводится сопоставление собственных результатов с данными других исследователей.

Заключение

В разделе излагаются основные выводы, подводится итог проделанной работы, обосновывается научная новизна полученных результатов, приводятся научно обоснованные рекомендации по их использованию, определяются основные направления дальнейших исследований в данной области.

Заключение содержит главные идеи основного текста статьи, но не должно повторять формулировок, приведенных в предыдущих разделах.

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников** (из которых **не менее 30 % зарубежных**).

Для ОБЗОРНЫХ аналитических статей допускается иная структура статьи:

1. Введение.
2. Аналитическая часть.
3. Заключение.

В разделе «Аналитическая часть» должен быть представлен критический анализ и критическое обобщение актуальной исследовательской проблемы по отечественным и зарубежным научным источникам (**не менее 25 источников**, из которых **не менее 50 % зарубежных**) с оценкой их научной новизны и оригинальности. Результаты критического анализа и обобщения должны быть подтверждены сравнительными таблицами, графиками, рисунками. В статье также должны быть отражены дискуссионные (проблематичные) вопросы.

Допускается разбиение разделов «Методы исследования», «Результаты исследования и их обсуждение», «Аналитическая часть» на несколько логически связанных подразделов.

5. Оформление текста:

а) текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором;
б) текст на одной стороне листа формата А4 набирается на компьютере (шрифт Times New Roman 14, **интервал 1,5**, без переносов, в одну колонку, **все поля по 2 см**, нумерация страниц внизу посередине);

в) на первой странице авторского материала должны быть напечатаны: УДК (универсальная десятичная классификация), **на русском и английском языках** название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); ФИО авторов (**не более трех**); место работы (название учреждения), аннотация, ключевые слова.

Требования к аннотации. Аннотация должна быть краткой, информативной, содержать цель работы, методы исследования, основные положения и результаты исследования (излагаются основные результаты теоретических и/или экспериментальных

исследований, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности), выводы с обоснованием научной новизны результатов. Аннотация может включать и другую информацию, уместную с точки зрения авторов, например, рекомендации по применению полученных результатов. Примерный объем аннотации **100–250 слов**.

6. Оформление формул в тексте:

а) формулы должны быть набраны на компьютере в редакторе формул Microsoft Word (Equation), размер шрифта эквивалентен 14 (Times New Roman);

б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);

в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).

7. Оформление рисунков и таблиц:

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в тексте или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

б) если в тексте не одна таблица, то их следует пронумеровать (сначала пишется: Таблица 2, на той же строке название таблицы полужирно, и далее следует сама таблица);

в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

8. Оформление библиографии (списка литературы):

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников**, для *обзорных* аналитических статей – **не менее 25 источников**.

При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 30 % от общего количества ссылок, для обзорных аналитических статей – не менее 50 %.

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Правила оформления списка литературы:

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Примеры оформления списка литературы:

Литература

1. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопросы философии. 1992. № 10. С. 76–86.

2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев [и др.] // Жизнь и безопасность. 2004. № 3–4. С. 134–137.

3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособ. для лесных пожарных. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002.

4. Грэждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневых процессов: сб. науч. тр. М.: Наука, 1981. С. 61–63.

5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Безопасность и отдых: системный взгляд на проблему рисков // Туризм и рекреация: тр. II Междунар. конф. / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2007. С. 329–334.

6. Белоус Н.А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электрон. науч. журн. 2006. № 4. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

7. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон Рос. Федерации от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 35. Ст. 3 503.

9. Оформление раздела «Сведения об авторах»

Сведения об авторах прилагаются в конце статьи и включают: Ф.И.О. (полностью), должность, место работы с указанием адреса и его почтового индекса; номер телефона; ученую степень, ученое звание, почетное звание; адрес электронной почты; ORCID для каждого автора (<https://orcid.org/>).

Статья должна быть подписана авторами и указаны контактные телефоны.

Внимание авторов: материалы, оформленные без соблюдения настоящих требований, будут возвращаться на доработку.

Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное анонимное рецензирование.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 614.8

МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОГО ПОЖАРА

Сергей Петрович Иванов✉.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉spi78@mail.ru

Аннотация. 100–250 слов

Ключевые слова: 3–10 слов

Для цитирования: Иванов С.П. Метод оценки эффективности огнезащиты стальных конструкций на объектах нефтегазового комплекса в условиях открытого пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 25–30. (ОФОРМЛЯЕТСЯ РЕДАКЦИЕЙ)

METHOD FOR ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF FIRE PROTECTION OF STEEL STRUCTURES ON OBJECTS OF OIL AND GAS COMPLEX IN CONDITIONS OF OPEN FIRE

Sergey P. Ivanov✉. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉spi78@mail.ru

Abstract.

Keywords:

For citation: Ivanov S.P. Method for estimation of the efficiency of fire protection of steel structures on objects of oil and gas complex in conditions of open fire // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere.* 2022. № 1 (61). P. 25–30.

Введение

Текст, текст, текст

Методы исследования

Текст, текст, текст

Результаты исследования и их обсуждение

Текст, текст, текст

Заключение

Текст, текст, текст

Список источников (не менее 10 источников)

References

Информация об авторах:

Сергей Петрович Иванов – заместитель начальника научно-исследовательского института Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>

Information about the authors:

Sergey P. Ivanov – deputy head of the Research institute of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 10.01.2022; одобрена после рецензирования: 03.02.2022;
принята к публикации: 11.02.2022 (ОФОРМЛЯЕТСЯ РЕДАКЦИЕЙ)

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 10.01.2022; approved after review: 03.02.2022;
accepted for publication: 11.02.2022

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»

Научно-аналитический журнал

**Проблемы управления рисками в техносфере
№ 4 (64)–2022**

Подписной индекс № 16401 в электронном каталоге ГК «Урал-Пресс»

**Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-36404 от 20 мая 2009 г.**

Редактор П.А. Болотова

Подписано в печать 28.12.2022. Формат 60×84_{1/8}.
Усл.-печ. л. 22,5 Тираж 1000 экз. Зак. № 83

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149