

ISSN 1998-8990

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
**ПРОБЛЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ  
В ТЕХНОСФЕРЕ**  
PROBLEMS OF TECHNOSPHERE RISK MANAGEMENT  
**№ 2 (66)–2023**

**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., Государственный университет управления, Академия  
управления МВД России, Москва, Россия

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

#### **Редакционная коллегия**

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

## **Editorial council**

<b>Lozhkin V.N.</b> <i>Chairman</i>	DSc, prof., honored scientist of the Russian Federation, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
<b>Lozhkina O.V.</b> <i>Deputy chairman</i>	DSc, PhD, prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
<b>Sharipkhanov S.D.</b>	DSc, associate prof., M. Gabdullin academy of civil protection of EMERCOM of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Republic of Kazakhstan
<b>Akterskiy Yu.E.</b>	DSc, prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
<b>Terekhin S.N.</b>	DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
<b>Malygin I.G.</b>	DSc, prof., N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia
<b>Evtukov S.S.</b>	DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of architecture and civil engineering, Saint-Petersburg, Russia
<b>Kalach A.V.</b>	DSc, prof., Voronezh institute of the federal penitentiary service of Russia, Voronezh, Russia
<b>Rudakov O.B.</b>	DSc, prof., Voronezh state technical university, Voronezh, Russia
<b>Loktev A.A.</b>	DSc, prof., Russian university of transport, Saint-Petersburg, Russia
<b>Safarzoda B.A.</b>	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
<b>Makarov O.S.</b>	DSc, associate prof., Belarusian institute of strategic studies, Minsk, Republic of Belarus
<b>Kovaleva N.V.</b>	DSc, associate prof., State university of management, Academy of management of the Ministry of internal affairs of Russia, Moscow, Russia
<b>Agayev Guloglan Ali ogly</b>	DSc, prof., Saint-Petersburg State university of aerospace instrumentation, Saint-Petersburg, Russia
<b>Antonov A.A.</b>	DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of the Ministry of internal affairs of Russia, Saint-Petersburg, Russia
<b>Gotchina L.V.</b>	DSc, PhD, prof., Saint-Petersburg academy of the investigative committee of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia
<b>Vinokurov V.A.</b>	DSc, associate prof., honored lawyer of the Russian Federation, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
<b>Ishekov K.A.</b>	DSc, associate prof., Lomonosov Moscow state university, Moscow, Russia
<b>Khlebushkin A.G.</b>	DSc, associate prof., Saint-Petersburg state university of economics, Saint-Petersburg, Russia
<b>Mrachkova Eva</b>	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.**

*Secretary*

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.**

*Chairman*

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.**

*Secretary*

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

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

Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н., Смирнов А.С. Теория и практика обеспечения безопасности применения в условиях чрезвычайных ситуаций силовых установок пожарных автомобилей 4–5 поколений .....	8
Евдокимов В.И., Арсланов А.М., Копченков В.Н. Вклад показателей российских чрезвычайных ситуаций в мировую базу данных The Emergency Events Database (EM-DAT) ...	16
Турсенев С.А., Маевский А.М., Занин В.Ю. Использование нейронных сетей для систем планирования перемещения робототехнических комплексов в сфере задач МЧС России .....	26
Савельев М.И. Астероидно-кометная опасность в системе классификации чрезвычайных ситуаций МЧС России .....	40
Рыбаков А.В., Очетов С.Л., Рыбакова А.М. Методика обоснования рациональных параметров остекления для защиты населения от поражающих факторов взрыва .....	49
Седнев В.А., Копнышев С.Л., Сергеевкова Н.А. Моделирование характеристик воздействия камуфлетного взрыва на объекты инфраструктуры .....	57
Ложкина О.В., Орловцев С.В., Нефедьев С.А. Анализ чрезвычайных ситуаций на автомобильном транспорте, вызванных воздействием тумана и дыма природных пожаров ..	72
Баринев А.В., Баринев М.Ф., Вишняков А.В. Анализ проблемных ситуаций при применении авиационно-спасательного центра в условиях Крайнего Севера .....	84
Белоуско Ю.А. Оценка состояния защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера Республики Мордовии .....	94

### **ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Андрюшкин А.Ю., Рустамова М.У., Кадочникова Е.Н. Обеспечение безопасности сварных соединений корпусов нефтегазового оборудования методом ультразвуковой ударной обработки .....	103
Захматов В.Д., Крутолапов А.С., Минкин Д.Ю. Техника импульсного тушения горящих автоцистерн в тоннелях и узких дорогах с предотвращением взрывов топливо-воздушных смесей .....	114
Шкитронов М.Е., Бесков М.С., Елисеев И.Б. Выбор ручного пожарного ствола на основе применения обобщенного комплексного показателя .....	127
Королева Л.А., Ивахнюк Г.К., Малыгин И.Г. Оценка пожарной опасности и перспективы развития локомотивной тяги с использованием системного подхода метода анализа иерархий .....	136
Самигуллин Г.Х., Захаров А.Е. Снижение пожарной опасности при хранении нефтепродуктов в полимерных эластичных резервуарах, модифицированных наноматериалами .....	148
Фомин А.В., Егоров А.А. Оценка пожарной опасности водородных заправочных станций .....	159
Гутовский А.В., Морозов А.Ю., Турсенев С.А. Обоснование выбора пакета материалов для создания мобильного средства защиты людей .....	167

### **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Савчук О.Н. К вопросу прогнозирования зон токсического заражения в случаях пожара на полигонах с твердыми коммунальными отходами .....	176
Медведева Л.В., Макаруч Г.В., Бранцевич Г.В. К вопросу определения амидного азота в строительных материалах .....	188
Самсалиев А.А. Исследование температурных и спектральных изменений веществ, обработанных в реакционной камере СВЧ-плазматрона .....	197
Ударцева О.В. Проблемы экологической безопасности хранения нефтепродуктов ....	206

<b>Габриэль П.О., Ивахнюк Г.К., Сай А.Р.</b> Обзор существующих систем мониторинга состояния полигонов твердых коммунальных отходов .....	214
---	-----

## ***ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА***

<b>Трапезникова М.М., Раджабова Ф.Ф.</b> Некоторые аспекты уголовной ответственности за нарушение требований охраны труда .....	225
---	-----

<b>Авторам журнала «Проблемы управления рисками в техносфере».</b> .....	234
--	-----

## **CONTENTS**

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

<b>Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N., Smirnov A.S.</b> Theory and practice of ensuring the safety of the use of power plants of fire trucks of 4–5 generations in emergency situations .....	8
<b>Evdokimov V.I., Arslanov A.M., Kopchenov V.N.</b> Contribution of indicators of Russian emergencies to the global database The Emergency Events Database (EM-DAT) .....	16
<b>Tursenev S.A., Maevskiy A.M., Zanin V.Yu.</b> The use of neural networks for systems for planning the movement of robotic complexes in the field of tasks of EMERCOM of Russia .....	26
<b>Savelev M.I.</b> Asteroid-comet danger in the emergency classification system of EMERCOM of Russia .....	40
<b>Rybakov A.V., Ochetov S.L., Rybakova A.M.</b> Methodology for substantiating rational glazing parameters for protecting the population from damaging explosion factors .....	49
<b>Sednev V.A., Kopnyshev S.L., Sergeenkova N.A.</b> Modeling of the characteristics of the impact of a camouflage explosion on infrastructure facilities .....	57
<b>Lozhkina O.V., Orlovtshev S.V., Nefed'ev S.A.</b> Analysis of traffic accidents related to fog and wildfire smoke .....	72
<b>Barinov A.V., Barinov M.F., Vishnyakov A.V.</b> Analysis of problematic situations when using an aviation rescue center in the conditions of the far north .....	84
<b>Belousko Yu.A.</b> Assessment of the state of protection of population and territories from natural and man-made emergencies in the Republic of Mordovia .....	94

### ***FIRE SAFETY***

<b>Andryushkin A.Yu., Rustamova M.U., Kadochnikova E.N.</b> Ensuring the safety of welded joints of oil and gas equipment housings by ultrasonic shock treatment .....	103
<b>Zakhmatov V.D., Krutolapov A.S., Minkin D.Yu.</b> The technique of pulse extinguishing of burning tankers in tunnels and narrow roads with the prevention of explosions of fuel-air mixtures .....	114
<b>Shkitronov M.E., Beskov M.S., Eliseev I.B.</b> Selection of a manual fire barrel based on the application of a generalized complex indicator .....	127
<b>Koroleva L.A., Ivakhnyuk G.K., Malygin I.G.</b> Fire hazard assessment and prospects for the development of locomotive traction using a systematic approach of the hierarchy analysis method .....	136
<b>Samigullin G.Kh., Zakharov A.E.</b> Reduction of fire hazard when storing petroleum products in polymeric elastic tanks modified with nanocarbon components .....	148
<b>Fomin A.V., Egorov A.A.</b> Determination of the fire hazard of hydrogen filling stations .....	159
<b>Gutovsky A.V., Morozov A.Yu., Tursenev S.A.</b> Justification of the choice of a package of materials for creating a mobile means of protecting people .....	167

### ***ENVIRONMENTAL SAFETY***

<b>Savchuk O.N.</b> Improving the methodology of predicting toxic contamination zones in cases of fire at solid municipal waste landfills .....	176
---	-----

<b>Medvedeva L.V., Makarchuk G.V., Brantsevich G.V.</b> To the question of the determination of amide nitrogen in building materials .....	188
<b>Samsaliev A.A.</b> Investigation of temperature and spectral changes of substances treated in the reaction chamber of a microwave plasmatron .....	197
<b>Udartseva O.V.</b> Problems of environmental safety of petroleum products storage .....	206
<b>Gabriel P.O., Ivakhnyuk G.K., Say A.R.</b> Overview of existing systems for monitoring the state of municipal solid waste landfills .....	214

#### ***LEGAL BASIS FOR ENSURING HUMAN AND SOCIAL SECURITY***

<b>Trapeznikova M.M., Rajabova F.F.</b> Some aspects of criminal liability for violation of labor protection requirements .....	225
---	-----

**To the authors of the journal «Problems of risk management in the technosphere» ..... 234**

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](mailto:redakziaotdel@yandex.ru). Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: [WWW.IGPS.RU](http://WWW.IGPS.RU)

**ISSN 1998-8990**

---

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

---

Научная статья

УДК 656.13(1-21):621.43.06:504.3.064

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ 4–5 ПОКОЛЕНИЙ

Гавкалюк Богдан Васильевич;

✉ Ложкин Владимир Николаевич;

Смирнов Алексей Сергеевич.

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

✉ [vnlojkin@yandex.ru](mailto:vnlojkin@yandex.ru)

*Аннотация.* В новейшей истории вступления Российской Федерации в глобальную мировую экономику, начиная с 2006 г., парк пожарных автомобилей стал заметно пополняться машинами, силовые установки которых оснащены оборудованием обеспечения их конструктивной безопасности 4–5 поколений: «common rail system», «CRT system», «SCR system». Как показали выполненные исследования, в условиях реагирования на чрезвычайные ситуации эти системы обладают повышенным риском отказов, приводящих к нарушениям работоспособности и пожарной безопасности силовых установок. В статье описываются теоретические и прикладные вопросы поддержки работоспособности силовых установок путем диагностирования и устранения отказов оборудования 4–5 технологических поколений в условиях реальной эксплуатации пожарных автомобилей.

*Ключевые слова:* пожарный автомобиль, силовая установка, комплексная безопасность, чрезвычайная ситуация, отказ, диагностика

**Для цитирования:** Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н., Смирнов А.С. Теория и практика обеспечения безопасности применения в условиях чрезвычайных ситуаций силовых установок пожарных автомобилей 4–5 поколений // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 8–15.

Scientific article

## THEORY AND PRACTICE OF ENSURING THE SAFETY OF THE USE OF POWER PLANTS OF FIRE TRUCKS OF 4–5 GENERATIONS IN EMERGENCY SITUATIONS

Gavkalyuk Bogdan V.;

✉Lozhkin Vladimir N.;

Smirnov Aleksey S.

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

✉vnlojkin@yandex.ru

**Abstract.** In the recent history of the entry of the Russian Federation into the global world economy, starting from 2006, the fleet of fire trucks began to noticeably replenish with vehicles whose power plants are equipped with equipment to ensure their constructive safety of 4–5 generations: «common rail system», «CRT system», «SCR system». As studies have shown, in emergency response conditions, these systems have an increased risk of failures, leading to disruptions in the performance and fire safety of power plants. The article describes the theoretical and applied issues of supporting the performance of power plants by diagnosing and eliminating equipment failures of 4–5 technological generations in the conditions of actual operation of fire trucks.

**Keywords:** fire truck, power plant, integrated safety, emergency, failure, diagnostics

**For citation:** Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N., Smirnov A.S. Theory and practice of ensuring the safety of the use of power plants of fire trucks of 4–5 generations in emergency situations // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 8–15.

### Введение. Состояние проблемы

К силовым установкам эксплуатируемого парка пожарных автомобилей (ПА) [1] сегодня предъявляются требования многорежимности, например, при тушении затяжных пожаров [2], многотопливной функциональности [3], декарбонизации [4], санитарной (токсичность и дымность [5–8]) и пожарной безопасности [3] организации рабочего процесса. Следуя удовлетворению этим актуальным требованиям, в гарнизонах МЧС России стали появляться ПА с двигателями отечественных и зарубежных производителей, оборудованных «common rail system» (аккумуляторные системы высокого и сверх высокого [9] постоянного давления впрыскивания топлива), «CRT system» (системы окислительного катализа с фильтрацией сажи), «SCR system» (системы селективной каталитической очистки ОГ от NO<sub>x</sub>) [8]. Таких ПА больше в столичных регионах и на территориях целевого инвестиционного развития Российской Федерации, очень мало в некоторых отдаленных «глубинных» районах Российской Федерации, а в среднем по регионам Российской Федерации пока недостаточно, чтобы надежно обеспечить комплексную безопасность ПА по показателям профилактической медицины (санитарно-гигиеническим – оксида углерода (CO), углеводородов (CH), NO<sub>x</sub>, бензо(α)пирена, PM<sub>2.5</sub> и пожарно-техническим свойствам) применения ПА в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) (рис. 1).

В то же время из зарубежного опыта можно достоверно заключить, что отечественные производители, опираясь на упомянутые технологии 4–5 уровня безопасности и новейшие разработки [1, 9–12], будут в ближайшей перспективе радикально обновлять эксплуатируемый парк ПА (рис. 2) для условий ЧС [1, 3].

Применение на силовых установках ПА специализированного оборудования 4–5 классов безопасности потребует и использования топлива соответствующего качества, что в условиях реальной эксплуатации не всегда удастся обеспечить.

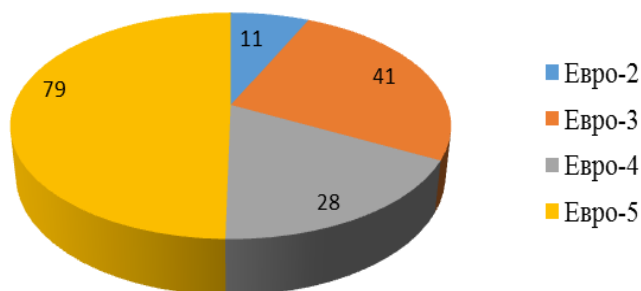


Рис. 1. Распределение дизельных силовых установок ПА Красноярского края, сертифицированных по классу безопасности (в шт.) на 2020 г. [8]

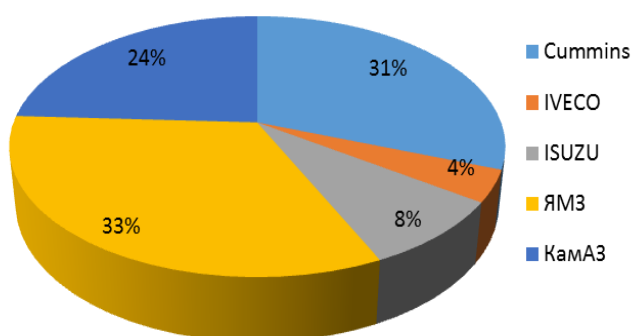


Рис. 2. Распределение дизельных силовых установок всех ПА Красноярского края производства после 2006 г. по производителю (в %) на 2020 г. [10]

По этим причинам на автомобилях гражданского назначения, применение на которых оборудования 4–5 классов безопасности приняло массовый характер, за последние 15 лет участились воспламенения нейтрализаторов, поскольку в случае, например, отказов прецизионной топливной аппаратуры (рис. 3 а – коррозионное разрушение деталей) экзотермический процесс окислительного катализа в реакторе нейтрализатора может стать неуправляемым (рис. 3 б).



а)



б)

Рис. 3. Визуализация: а) – коррозии корпуса гильзы топливного насоса высокого давления и всасывающего клапана по причине повышенного содержания в топливе серы; б) – оплавленного каталитического блока из-за отказа топливной аппаратуры

В настоящей работе приводятся авторские теоретические исследования кинетической природы возникновения нештатного неуправляемого экзотермического процесса окислительного катализа в нейтрализаторе силовой установки ПА [12] из-за отказов в топливных системах двигателя и практические рекомендации по методике обнаружения (диагностирования) предаварийного режима работы этих систем [3].

### Методика и результаты исследования

Теоретические исследования вероятности возникновения неуправляемого процесса катализа выполнялись путем постановки численного (виртуального) эксперимента с использованием ранее разработанной авторами математической модели гетерогенного окислительного катализа [3] и данных стендовых испытаний опытного образца каталитического нейтрализатора отработавших газов (ОГ) – глушителя шума их выпуска в атмосферу [12]. Предварительно, в связи с ожидаемым широким диапазоном изменения температуры ОГ для реальных условий эксплуатации силовой установки ПА (от 50–100 °С до 650 °С) была принята близкая к достоверной гипотеза ожидания вероятности протекания результирующего физико-химического процесса гетерогенного катализа по предельному механизму, который произошел из-за переобогащения горючей смеси.

Переобогащение топливовоздушной смеси в цилиндрах возможно при таких аварийных отказах двигателя, как, например, «зависание» иглы распылителя форсунки или поршневых колец. В первом случае возможны «подвпрыски» со струйным истечением топлива через сопловые отверстия распылителя, во втором – прорыв из картера в цилиндр масляной взвеси. Процесс каталитического окисления несгоревшей в цилиндрах переобогащенной топливовоздушной смеси будет происходить в порах тонкого слоя (0,02–0,04 мм) катализатора (рис. 4) по механизму [12].

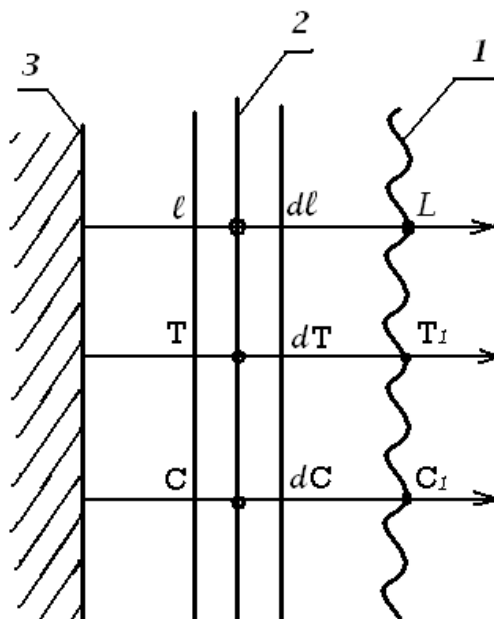


Рис. 4. Схема слоя пористого носителя  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  катализатора Pt для расчета тепловыделения при окислении CO, CH и  $\text{PM}_{2,5}$  в нейтрализаторе:

1 – внешняя поверхность пористого слоя  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ; 2 – расчетная поверхность внутри слоя; 3 – внутренняя поверхность «сотового» канала нейтрализатора

$$\left(\frac{dM}{dt}\right) = \left[\left(\frac{Nu_D \cdot D}{d_{\text{ЭКВ}}}\sqrt{D_{\text{эф}} \cdot k'}\right) / \left(\frac{Nu_D \cdot D}{d_{\text{ЭКВ}}} + \sqrt{D_{\text{эф}} \cdot k'}\right)\right] \cdot C_0,$$

где  $dM/dt$  – скорость кинетики процесса катализа;  $Nu_D$  – безразмерный диффузионный показатель Нуссельта;  $D$  – расчетное значение числа, характеризующего диффузию ОГ внутри ячейки блока,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $d_{\text{ЭКВ}}$  – приведенный к условной площади, диаметр сечения ячейки блока,  $\text{м}$ ;  $D_{\text{эф}}$  – расчетное значение числа, характеризующего диффузию ОГ внутри пористого слоя  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ , рассчитываемое по уравнению:

$$dC/dt = D_{\text{эф}} \cdot \Delta C - W'(C),$$

где  $C$  – концентрация вещества ОГ, участвующего в каталитической реакции внутри слоя  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  катализатора (сечение 2, рис. 4),  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\Delta$  – функция (оператор) Лапласа;  $W'(c)$  – скорость химической реакции в порах катализатора  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

$$W'(c) = k'c^n,$$

где  $k'$  – константа «псевдообъемной» гомогенной реакции в порах катализатора  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{с}^{-1}$ ;

$$k' = k \cdot S_v,$$

где  $S_v$  – приведенная к глубине «проникновения» каталитической реакции в слой  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , внутренняя поверхность пор,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ,  $k$  – константа гомогенной реакции в слое  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{с}^{-1}$ , рассчитанная по уравнению Аррениуса («истинное» значение скорости реакции по определению в работе [12]);  $n$  – число указывает на порядок химической реакции катализа по уравнению Аррениуса.

Предполагаем, что скорость выше описанного результирующего физико-химического процесса и обусловленного им выделения тепла в слое  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  при аварийном режиме эксплуатации топливной аппаратуры приводят через избыточное образование и интенсивное окисление СО, СН, частиц сажи  $\text{PM}_{2,5}$  к неуправляемому пожарно-опасному разогреву каталитического нейтрализатора (КН), описанному в работе [13]. В авторской работе [14] приведены результаты экспериментально-расчетного исследования выхода в аварийный пожарно-опасный разогрев КН оригинальной конструкции применительно к двигателю ПА КАМАЗ. Исследования [14] подтвердили вероятность роста мощности тепловыделения в сравнении с нормальным режимом эксплуатации КН в 15,5 раза – до 491 907,3 кДж/ч.

Авторами разработаны инструментальные методы технического диагностирования пожарно-аварийных и экологически опасных режимов эксплуатации силовых установок пожарной и аварийно-спасательной техники МЧС России в эксплуатации [3]. Диагностирование бензиновых и газобаллонных двигателей рекомендуется производить безразборным способом по анализу содержания в ОГ СО, суммы газообразных СН и контролю значений коэффициента избыточного содержания в топливно-воздушной смеси воздуха ( $\lambda$ ) [3]. Пожарную безопасность работы каталитических фильтров-накопителей твердых частиц сажи рекомендуется инструментально контролировать безразборным методом путем измерения дымности ОГ на двух режимах холостых ходов двигателя, соответствующих максимальной частоте вращения коленчатого вала и свободного ускорения [3].

### Заключение

Проведенным исследованием установлено, что силовые установки пожарных и аварийно-спасательных машин, полностью обеспечивая в эксплуатации доставку на место ЧС личного состава и работу специализированного приводного оборудования, наносят ОГ экологический



урон. Компенсация урона оснащением силовых установок оборудованием 4–5 технологических поколений «*common rail system*», «*CRT system*», «*SCR system*» предполагает использование каталитических систем, которые при отказах топливной аппаратуры переходят в неуправляемый пожароопасный аварийный режим эксплуатации с 10-кратным и более повышением тепловой производительности реактора. Авторами на основе получения новых знаний о кинетике процесса окислительного катализа разработаны и предложены оригинальные методы безразборной диагностики отказов в работе данного оборудования по контролю CO, CH,  $\lambda$  на бензиновых и газобаллонных силовых установках и дымности в режиме свободного ускорения – дизельных. Внедрение методов в подразделениях МЧС России показало их высокую превентивную экологическую и пожарно-техническую эффективность.

### Список источников

1. Этапы и направления создания и производства пожарных автомобилей в современной России / В.И. Логинов [и др.] // Пожарная безопасность. 2021. № 2 (97). С. 51–59.
2. Fann N., Alman B., Broome R.A. The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012 // Sci. Total Environ. 2018. Vol. 610–611. P. 802–809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024.
3. 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.
4. Wael K. Al-Delaimy and others health of people, health of planet and our responsibility. Climate change, air Pollution and health // eBook, Springer. XXIII. 2020. 417 s. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.
5. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году: гос. доклад Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. URL: <https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/821/%D0%93%D0%94-2018.pdf> (дата обращения: 19.02.2023).
6. 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 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/> (дата обращения: 19.02.2023).
7. Wik C. Tier III technology development and its influence on ship installation and operation // CIMAC Congress. 2013. № 159. 11 p.
8. Reported prevalence of health conditions that affect drivers / F. Alonso [et al.] // Cogent Medicine. 2017. Vol. 4. DOI: 10.1080/2331205X.2017.1303920.
9. An experimental study of a very high-pressure diesel injector (up to 5000 bar) by means of optical diagnostics / W. Vera-Tudela [et al.] // Fuel. 2020. Vol. 275. ID 117933.
10. 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.
11. Применение интегрированного расчетно-экспериментального комплекса для разработки и доводки рабочих процессов дизеля с аккумуляторной топливной системой / А.Ю. Дунин [и др.] // Двигателестроение. 2022. № 1 (287). С. 32–44.
12. 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.
13. Tsukasa Azuma. What are the bad catalytic converter symptoms? // Car from Japan. 2020. № 31. URL: <https://carfromjapan.com/article/car-maintenance/bad-catalytic-converter-symptoms/> (дата обращения: 04.02.2023).

14. Ложкин В.Н., Онищенко И.А., Ложкина О.В. Расчетное исследование пожароопасных режимов работы каталитических нейтрализаторов в условиях Арктики // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2016. № 3. С. 7–16.

## References

1. Etapy i napravleniya sozdaniya i proizvodstva pozharnyh avtomobilej v sovremennoj Rossii / V.I. Loginov [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2021. № 2 (97). S. 51–59.
2. Fann N., Alman B., Broome R.A. The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012 // Sci. Total Environ. 2018. Vol. 610–611. P. 802–809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024.
3. Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N. O nauchno-tehnicheskoy strategii uluchsheniya ekologicheskikh harakteristik pozharnyh avtomobilej na sovremennom etape // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 4 (64). S. 73–79.
4. Wael K. Al-Delaimy and others health of people, health of planet and our responsibility. Climate change, air Pollution and health // eBook, Springer. XXIII. 2020. 417 s. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.
5. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2018 godu: gos. Doklad of Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii. URL: <https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/821/%D0%93%D0%94-2018.pdf> (data obrashcheniya: 19.02.2023).
6. O vnesenii izmenenij v Pravila primeneniya obyazatel'nyh trebovanij v otnoshenii otdel'nyh kolesnyh transportnyh sredstv i provedeniya ocenki ih sootvetstviya: postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 15 iyunya 2022 g. № 1269 // Oficial'nyj internet-portal pravovoj informacii. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/> (data obrashcheniya: 19.02.2023).
7. Wik C. Tier III technology development and its influence on ship installation and operation // CIMAC Congress. 2013. № 159. 11 p.
8. Reported prevalence of health conditions that affect drivers / F. Alonso [et al.] // Cogent Medicine. 2017. Vol. 4. DOI: 10.1080/2331205X.2017.1303920.
9. An experimental study of a very high-pressure diesel injector (up to 5000 bar) by means of optical diagnostics / W. Vera-Tudela [et al.] // Fuel. 2020. Vol. 275. ID 117933.
10. Sacuk I.V. Zakonomernosti raspredeleniya i tekhnicheskogo sostoyaniya ekspluatiruemykh pozharnyh avtomobilej po pokazatelyam konstruktivnoj bezopasnosti silovykh ustanovok // Sibirskij pozharno-spatatel'nyj vestnik. 2022. № 2. С. 31–38. DOI: 10.34987/vestnik.
11. Primenenie integrirovannogo raschetno-eksperimental'nogo kompleksa dlya razrabotki i dovodki rabochih processov dizelya s akkumulyatornoj toplivnoj sistemoj / A.Yu. Dunin [i dr.] // Dvigatelistroenie. 2022. № 1 (287). S. 32–44.
12. 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.
13. Tsukasa Azuma. What are the bad catalytic converter symptoms? // Car from Japan. 2020. № 31. URL: <https://carfromjapan.com/article/car-maintenance/bad-catalytic-converter-symptoms/> (data obrashcheniya: 04.02.2023).
14. Lozhkin V.N., Onishchenko I.A., Lozhkina O.V. Raschetnoe issledovanie pozharoопасnykh rezhimov raboty kataliticheskikh nejtralizatorov v usloviyah Arktiki // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2016. № 3. S. 7–16.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 26.03.2023; одобрена после рецензирования: 03.04.2023;  
принята к публикации: 11.04.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 26.03.2023; approved after review: 03.04.2023;  
accepted for publication: 11.04.2023

*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

**Смирнов Алексей Сергеевич**, первый заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: sas@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1661-9089>

*Information about the authors:*

**Gavkalyuk Bogdan V.**, supervisor of the 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 the 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

**Smirnov Alexey S.**, first deputy head of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: sas@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1661-9089>

Научная статья

УДК 614.84

## **ВКЛАД ПОКАЗАТЕЛЕЙ РОССИЙСКИХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В МИРОВУЮ БАЗУ ДАННЫХ THE EMERGENCY EVENTS DATABASE (EM-DAT)**

✉ **Евдокимов Владимир Иванович.**

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

**Арсланов Артём Минирович;**

**Копченев Владимир Николаевич.**

**Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт  
противопожарной обороны МЧС России, Московская обл., г. Балашиха, Россия**

**✉ 9334616@mail.ru**

*Аннотация.* Последствия крупномасштабных ЧС нередко превышают валовой внутренний продукт некоторых стран. Для организации международной помощи необходимо знать риски медико-биологических и социально-экономических последствий ЧС в мире. Цель – сравнить показатели российских ЧС, представленные в базе данных «The Emergency Events Database» (EM-DAT) и отечественной базе данных ЧС за 10 лет: с 2012 по 2021 г. Изучили показатели о крупномасштабных ЧС в России, при которых погибших было 10 чел. и более, пострадавших – 100 чел. и более, содержащиеся в EM-DAT (n=97) и отечественной базе данных ЧС (n=213). Рассчитали риски попасть в условия крупномасштабной ЧС, погибнуть и быть пострадавшим на 1 млн чел. населения России. Развитие показателей определили при помощи динамических рядов, конгруэнтность трендов – коэффициентом корреляции Пирсона. Выявлена недооценка числа российских крупномасштабных ЧС в базе данных EM-DAT и пострадавших в них при большем количестве погибших как в природных, так и техногенных ЧС. Например, было проиндексировано в EM-DAT только 45 % от всех крупномасштабных ЧС и 58,6 % от числа пострадавших в них, а количество погибших было больше – 124 % от всех учтенных погибших в крупномасштабных ЧС, содержащихся в российской базе данных. Как и следовало ожидать, в российской базе крупномасштабных ЧС по сравнению с отечественными ЧС, проиндексированными в EM-DAT, были статистически большие риски оказаться в условиях всех крупномасштабных ЧС, в том числе в природных ЧС, и риски быть пострадавшими во всех крупномасштабных ЧС, в том числе в техногенных ЧС. Статистические показатели различались не по всем изученным параметрам, сказалась также высокая конгруэнтность трендов рисков гибели и быть пострадавшими в крупномасштабных ЧС, за исключением техногенных ЧС. Российские риски гибели и быть пораженными в крупномасштабных техногенных ЧС были больше общемировых на уровне тенденций. В России имеются большие технологические и организационные возможности уменьшить эти риски. Несмотря на невыраженные статистические различия в показателях отечественных крупномасштабных ЧС, проиндексированных в EM-DAT, в строгих научных исследованиях эти данные использовать нежелательно. Скорее всего, это не по ошибке в базе данных EM-DAT, многочисленные исследования показали ее объективность, а недостаточная интеграция российских специалистов в международные организации по учету и профилактике ЧС, в том числе, с сотрудниками EM-DAT.

*Ключевые слова:* чрезвычайная ситуация, стихийное бедствие, техногенная катастрофа, риск, погибший, пострадавший, МЧС России, EM-DAT

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

**Для цитирования:** Евдокимов В.И., Арсланов А.М., Копченов В.Н. Вклад показателей российских чрезвычайных ситуаций в мировую базу данных The Emergency Events Database (EM-DAT) // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 16–25.

Scientific article

## **CONTRIBUTION OF INDICATORS OF RUSSIAN EMERGENCIES TO THE GLOBAL DATABASE THE EMERGENCY EVENTS DATABASE (EM-DAT)**

✉Evdokimov Vladimir I.

**All-Russian center of emergency and radiation medicine named after A.M. Nikiforov of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.**

**Arslanov Artem M.;**

**Kopchenov Vladimir N.**

**All-Russian order «Badge of Honor» research institute of fire defense of EMERCOM of Russia, Balashikha, Moscow region, Russia**

✉9334616@mail.ru

*Abstract.* The consequences of large-scale emergencies often exceed the gross domestic product of some countries. To organize international assistance, it is necessary to know the risks of biomedical and socio-economic consequences of emergencies in the world. It is necessary to know the risks of biomedical and socio-economic consequences of emergencies in the world for the organization of international assistance. The goal is to compare the indicators of Russian emergencies presented in The Emergency Events Database (EM-DAT) and the domestic emergency database for 10 years from 2012 to 2021. We studied the indicators of large-scale emergencies in Russia, in which there were 10 or more deaths and 100 or more injured, contained in EM-DAT (n=97) and the national database of emergencies (n=213). We calculated the risks of falling into the conditions of a large-scale emergency, dying and being injured per 1 million people of the Russian population. An underestimation of the number of Russian large-scale emergencies in the EM-DAT database, and those affected by them, was revealed, with overdiagnosis of those who died in both natural and man-made emergencies. For example, only 45 % of all large-scale emergencies and 58,6 % of the number of victims in them were indexed in EM-DAT, and the number of deaths was higher – 124 % of all recorded deaths in large-scale emergencies contained in the Russian database. As expected, in the Russian database of large-scale emergencies, compared with domestic emergencies indexed in EM-DAT, there were statistically greater risks of being in all large-scale emergencies, including natural emergencies, and the risks of being affected in all large-scale emergencies, including man-made emergencies. Statistical indicators did not differ in all studied parameters; there was also a high congruence of trends in the risks of death and being injured in large-scale emergencies, with the exception of man-made emergencies. The Russian risks of death and being affected in large-scale man-made emergencies were higher than the global ones at the level of trends. In Russia, there are great technological and organizational opportunities to reduce these risks. Despite the unexpressed statistical differences in the indicators of domestic large-scale emergencies indexed in EM-DAT, it is undesirable to use these data in rigorous scientific studies. Most likely, this is not the fault of the EM-DAT database, numerous studies have shown its objectivity, but the lack of integration of Russian specialists into international organizations for recording and preventing emergencies, including with EM-DAT employees.

*Keywords:* emergency, natural disaster, man-made disaster, risk, perished, injured, EMERCOM of Russia, EM-DAT

**For citation:** Evdokimov V.I., Arslanov A.M., Kopchenov V.N. Contribution of indicators of Russian emergencies to the global database The Emergency Events Database (EM-DAT) // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 16–25.

## Введение

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [1].

ЧС могут серьезно изменять жизнедеятельность людей. В 2010–2019 гг. экономический ущерб от ЧС в мире составил 2,97 трлн долл. США [2]. По мнению В.А. Акимова [3], последствия ЧС нередко превышают валовой внутренний доход некоторых стран и для их ликвидации требуется международная помощь. Для создания ресурсов, которые могут быть использованы при ликвидации последствий ЧС в мире, и для разработки мероприятий по профилактике ЧС необходимо знать риски их развития в мире, регионах и странах.

Учесть все ЧС, возникающие в мире, невозможно. По сведениям в работах [4–6], существует не менее шести ведущих баз данных, которые ведут индексацию сведений о ЧС в мире: EM-DAT, Natural catastrophe services (NatCatSERVICE), SIGMA (Swiss Re), GLObal unique disaster IDentifier (GLIDE), The Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), BD CATNAT Global12 и др.

Наиболее представительной базой данных является The Emergency Events Database (EM-DAT: OFDA/CRED) [<https://www.emdat.be/>], которая создана и поддерживается Центром исследований эпидемиологии бедствий (The Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED) при Католическом университете Лувена (UCLouvain) (г. Брюссель, Бельгия). Центр сотрудничает с ООН и другими международными организациями. База данных EM-DAT включает крупномасштабные ЧС и позволяет провести поиск ЧС по типам (природные, техногенные, комплексные), медико-биологическим и социально-экономическим последствиями ЧС для населения в мире, континентов и стран. В EM-DAT индексируются ЧС, при которых (вместе или отдельно): количество погибших – 10 чел. и более; количество пострадавших – 100 чел. и более; объявление режима ЧС в регионе; обращение за международной помощью. Как правило, сведения о крупномасштабных ЧС получают из средств массовой информации и региональных организаций по учету и профилактике ЧС.

Подробный алгоритм поиска ЧС в EM-DAT представлен в публикации [7]. За 10 лет: с 2012 по 2021 гг., в мире произошло 5 533 крупномасштабных ЧС, в том числе природных ЧС – 3 807 (68,8 %) и техногенных – 1 726 (31,2 %). Среднегодовое число ЧС в мире (Me [Q<sub>25</sub>; Q<sub>75</sub>]) было 549 [533; 588], из них природных – 371 [349; 402], техногенных – 187 [170; 204]. На рис. 1 показаны медико-биологические и социальные последствия крупномасштабных ЧС в мире за 10 лет.



Рис. 1. Число ЧС и количество людей, пострадавших в крупномасштабных ЧС, в мире за 10 лет в 2012–2021 гг. [7]

Полиномиальные тренды при разных по значимости коэффициентах детерминации всех крупномасштабных ЧС в мире показывают тенденцию незначительного роста показателей (рис. 2 А), природных ЧС – увеличения, техногенных ЧС – уменьшения (рис. 2 Б). В динамике структуры крупномасштабных ЧС наблюдается уменьшения доли техногенных ЧС и увеличение доли – природных (рис. 2 В).

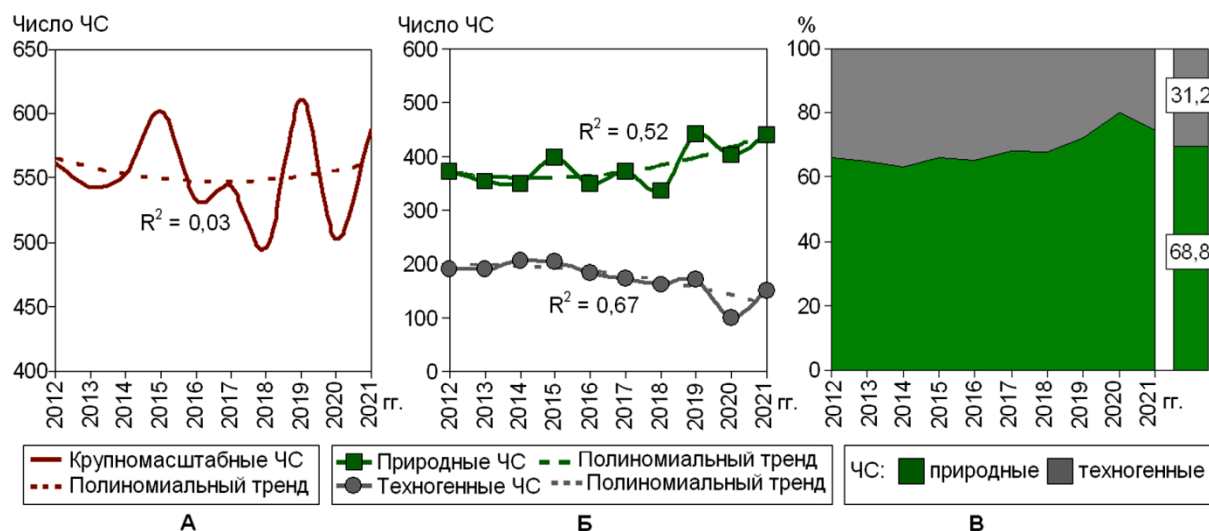


Рис. 2. Динамика крупномасштабных ЧС в мире (А), природных и техногенных ЧС (Б), динамика структуры и структура ЧС (В) [7]

База данных EM-DAT позволяет анализировать показатели ЧС в табличной форме или инфографике по подвидам природных (геофизические, метеорологические, климатологические, гидрологические и биологические) и техногенных (промышленные, транспортные и бытовые) ЧС, по погибшим, людям, которым оказана неотложная медицинская помощь (травмированные или заболевшие), лишившихся жилья и по другим показателям, в том числе по странам мира.

Отечественные публикации, в которых для анализа показателей о ЧС используются мировые базы данных мира, практически отсутствуют. В некоторых статьях указывается на необходимость усовершенствования международной базы данных EM-DAT для корректного статистического учета катастроф и стихийных бедствий на примере России [8, 9]. При том, что в более чем в тысяче научных исследований мира сведения о ЧС из этой базы данных используются как основополагающие. В публикации [4], в которой дается анализ более 11,1 тыс. крупномасштабных ЧС, представленных в EM-DAT в 1990–2020 гг., показана высокая согласованность данных медико-биологических последствий с реальными событиями, например, по числу погибших – в 86,9 %, числу пораженных, которым требуется экстренная медицинская помощь – в 77,7 %, по общему числу пострадавших – в 98,7 %. Отмечено, что в ряде показателей о ЧС отсутствовали сведения о социально-экономических последствиях.

Цель – сравнить показатели российских ЧС, представленные в EM-DAT и отечественных государственной базе данных [10].

### Материал и методы

Изучили показатели о крупномасштабных ЧС в России, содержащиеся в EM-DAT. Понятия крупномасштабные ЧС в нормативных документах России нет [11]. В научных исследованиях под крупномасштабными принято считать региональные, межрегиональные и федеральные ЧС [12].

Из базы данных об отечественных ЧС выделили ЧС, которые соответствовали условиям их представления в EM-DAT (10 погибших и более, 100 пострадавших и более).

В государственных докладах о ЧС не выделяются раненые (заболевшие) и лишившиеся жилья – они относятся к категории «пострадавшие» и представлен показатель – «спасенные».

Рассчитали риски для населения России: попасть в условия крупномасштабной ЧС, погибнуть в ЧС, быть пострадавшим в ЧС. Сведения о населении России взяли на сайте Росстата [<https://rosstat.gov.ru/>]. Обычно количество ЧС представляется на конец года, а число населения на указанном сайте – на начало года (на 1 января), в связи с чем при определении рисков брали сведения о населении по предыдущему году, то есть население России изучили за 2013–2022 г. Чтобы сравнить полученные риски с общемировыми, их уровень вычислили на 1 млн чел. населения страны ( $\times 10^{-6}$ ).

Результаты проверили на нормальность распределения признаков. В статье представлены медианы (Me) и квартили [Q25; Q75]. Конгруэнтность (согласованность) динамики показателей провели с помощью коэффициента корреляции Пирсона. Тренды данных показали в виде динамических рядов с расчетом полиномиального тренда 2-го порядка. Коэффициент детерминации (R2) демонстрировал объективность полученной кривой, чем больше был R2 (максимальный 1,0), тем больше приближался тренд полученной кривой к реальной динамике [13].

### Результаты и их анализ

По данным МЧС России [10], в течение 10 лет (2012–2021 гг.) в России произошли 3 079 ЧС (без учета крупных террористических актов), в том числе, региональных было 271 (8,8 %), межрегиональных – 7 (0,2 %), федеральных – 29 (0,9 %), то есть к категории крупномасштабных относились 307 (9,9 %) ЧС.

В России за аналогичный период зарегистрированы 213 ЧС, которые по последствиям ЧС соответствовали их учету в ЕМ-DAT, в то время как в самой базе ЕМ-DAT проиндексированы только 97 отечественных ЧС. Выявлена недооценка числа российских крупномасштабных ЧС в базе данных ЕМ-DAT и пострадавших в них при значительно большем количестве погибших как в природных, так и техногенных ЧС. Например, было проиндексировано в ЕМ-DAT 45 % от всех крупномасштабных ЧС и 58,6 % от числа пострадавших в них, а количество погибших было больше – 124 % от всех учтенных погибших в крупномасштабных ЧС, содержащихся в российской базе данных (табл. 1).

Таблица 1

#### Показатели крупномасштабных ЧС, представленных в российской базе данных и ЕМ-DAT (% от показателей в российской базе данных)

База данных	Данные ЧС		Погибшие, чел.		Пострадавшие, тыс. чел.	
	n (%)	Me [q25; q75]	n (%)	Me [q25; q75]	n (%)	Me [q25; q75]
Все крупномасштабные ЧС						
Российская	213	21 [17; 24]	1 657	146 [94; 261]	903,3	95,6 [33,4; 130,7]
ЕМ-DAT	97 (45,5)	10 [7; 13]	2 052 (123,8)	189 [113; 256]	529,4 (58,6)	20,3 [7,7; 49,0]
Природные крупномасштабные ЧС						
Российская	137	12 [11; 15]	353	11 [4; 15]	837,7	77,7 [32,7; 127,9]
ЕМ-DAT	29 (21,2)	3 [1; 5]	545 (154,4)	10 [0; 31]	527,7 (63,0)	20,2 [7,5; 49,0]
Техногенные крупномасштабные ЧС						
Российская	76	8 [6; 9]	783	113 [79; 184]	65,6	1,7 [0,5; 12,9]
ЕМ-DAT	68 (69,5)	7 [5; 8]	1507 (115,6)	122 [99; 222]	1,7 (2,6)	0,06 [0,03; 0,25]

На рис. 3 изображена динамика отечественных крупномасштабных ЧС, представленных в ЕМ-DAT и в российской базе данных. Полиномиальные тренды при низких коэффициентах детерминации при общем количестве ЧС показывали рост российских крупномасштабных ЧС,



которые должны были индексироваться в EM-DAT, при уменьшении данных, которые уже были представлены в EM-DAT (рис. 3 А), природных российских ЧС – увеличение числа, а проиндексированных в EM-DAT – тенденцию U-кривой, техногенных ЧС – уменьшения в обеих сравниваемых базах данных (рис. 3 В).

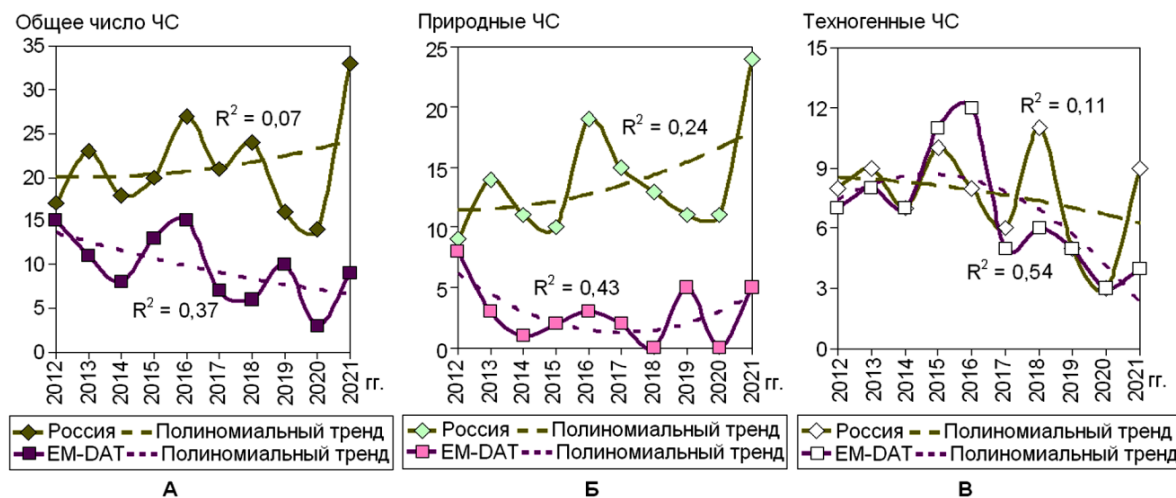


Рис. 3. Динамика общего числа отечественных крупномасштабных ЧС (А), природных (Б) и техногенных (В) ЧС, представленных в российской базе данных и проиндексированных в EM-DAT

Конгруэнтность трендов общего числа крупномасштабных ЧС, природных и техногенных ЧС в EM-DAT и российской базе данных – низкая и статистически недостоверная –  $r=0,204$ ,  $r=0,062$  и  $r=0,512$  соответственно ( $p > 0,05$  для всех трех показателей).

В табл. 2 представлены риски последствий крупномасштабных ЧС в мире [7], в российской базе данных и в EM-DAT. По сравнению с общемировыми рисками, в российском массиве была статистически значимо больше вероятность для населения России оказаться в условиях крупномасштабных ЧС, в том числе в природных и техногенных, и меньше – погибнуть в крупномасштабных ЧС, в том числе в природных ЧС, и быть пораженным в крупномасштабных ЧС, в том числе в природных ЧС (табл. 2).

Таблица 2

Среднегодовые риски погибнуть или быть пострадавшим в крупномасштабных ЧС,  
( $Me [Q_{25}; Q_{75}] \cdot 10^{-6}$ )

Среднегодовой риск	Массив ЧС в мире (1)	Отечественные ЧС в российской базе данных (2)	Отечественные ЧС в EM-DAT (3)	$p < 0,05$
Общее число крупномасштабных ЧС				
Оказаться в условиях ЧС	0,08 [0,07; 0,08]	0,14 [0,12; 0,16]	0,06 [0,05; 0,09]	1/2, 2/3
Риск погибнуть	2,56 [2,30; 3,78]	1,01 [0,64; 1,78]	1,30 [0,78; 1,73]	1/2, 1/3
Риск быть пострадавшим	14 058 [11 064; 16 623]	662 [227; 890]	139 [53; 342]	1/2, 1/3
Природные крупномасштабные ЧС				
Оказаться в условиях ЧС	0,05 [0,05; 0,05]	0,08 [0,07; 0,10]	0,02 [0,01; 0,03]	1/2, 1/3, 2/3
Риск погибнуть	1,98 [1,65; 2,93]	0,07 [0,03; 0,28]	0,07 [0,00; 0,21]	1/2, 1/3
Риск быть пострадавшим	14 388 [13 861; 19 576]	583 [227; 861]	138 [51; 342]	1/2, 1/3
Техногенные крупномасштабные ЧС				
Оказаться в условиях ЧС	0,03 [0,02; 0,03]	0,06 [0,04; 0,06]	0,04 [0,03; 0,06]	1/2, 1/3
Риск погибнуть	0,74 [0,61; 0,89]	0,78 [0,54; 1,26]	0,84 [0,68; 1,51]	
Риск быть пострадавшим	3,66 [3,05; 18,21]	11,87 [3,17; 88,75]	0,41 [0,21; 1,68]	1/3, 2/3

Как и следовало ожидать, в российской базе крупномасштабных ЧС по сравнению с отечественными ЧС, проиндексированными в EM-DAT, были статистически большие риски оказаться в условиях всех крупномасштабных ЧС, в том числе в природных ЧС, и риски быть пострадавшими во всех крупномасштабных ЧС, в том числе в техногенных ЧС (табл. 2).

На рис. 4 показана динамика рисков гибели в отечественных крупномасштабных ЧС. При разных по значимости коэффициентах детерминации полиномиальные тренды общего риска гибели (рис. 4 А) и гибели в природных ЧС (рис. 4 Б) показывали тенденции уменьшения данных как в EM-DAT, так и в российской базе данных. Динамика трендов гибели в техногенных ЧС напоминает инвертированную U-кривую с уменьшением показателей в последний период наблюдения (рис. 4 В).

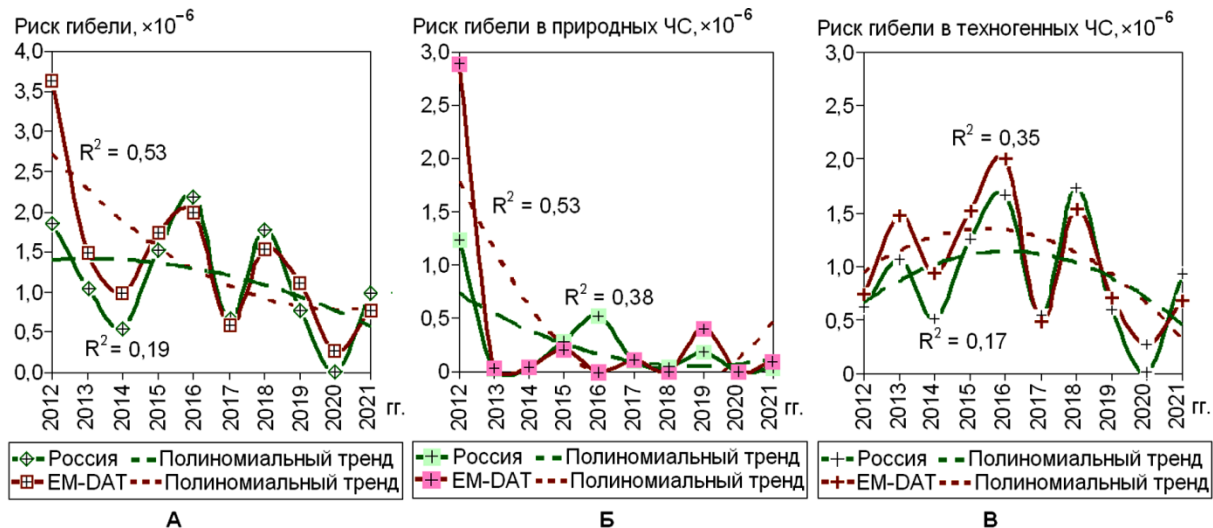


Рис. 4. Динамика риска гибели в отечественных крупномасштабных ЧС (А), природных (Б) и техногенных (В) ЧС, представленных в российской базе данных и проиндексированных в EM-DAT

Конгруэнтности трендов общего риска погибнуть в крупномасштабных ЧС, риска погибнуть в природных и техногенных ЧС в EM-DAT и российской базе данных – сильная и статистически значимая –  $r=0,786$  ( $p<0,01$ ),  $r=0,908$  ( $p<0,001$ ) и  $r=0,904$  ( $p<0,001$ ) соответственно.

На рис. 5 показана динамика рисков быть пострадавшим в отечественных крупномасштабных ЧС. При разных по значимости коэффициентах детерминации полиномиальные тренды общего риска быть пострадавшим (рис. 5 А) и в природных ЧС (рис. 5 Б) показывали тенденции уменьшения данных как в EM-DAT, так и в российской базе данных. Динамика трендов быть пострадавшим в техногенных ЧС, представленных российской базой данных, напоминает U-кривую, в EM-DAT – пологую инвертированную U-кривую (рис. 5 В). Конгруэнтности трендов быть пострадавшим во всех крупномасштабных и природных ЧС в учтенных в EM-DAT и российской базе данных – сильная и статистически значимая –  $r=0,767$  ( $p<0,01$ ),  $r=0,781$  ( $p<0,01$ ) и техногенных ЧС – статистически недостоверная –  $r=0,549$  ( $p>0,05$ ).

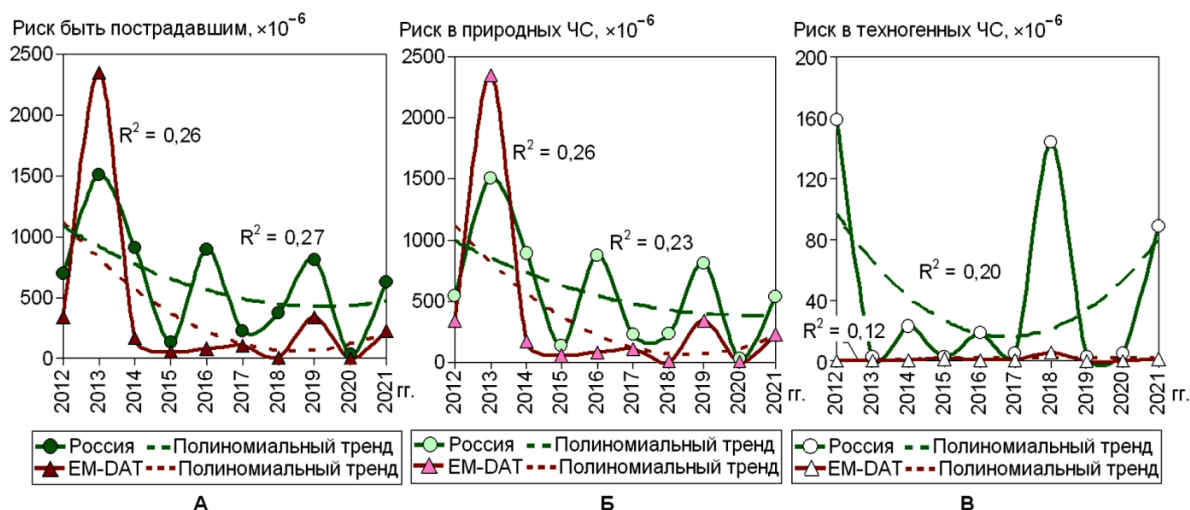


Рис. 5. Динамика риска быть пострадавшим в отечественных крупномасштабных ЧС (А), природных (Б) и техногенных (В) ЧС, представленных в российской базе данных и проиндексированных в EM-DAT

Уместно также указать, что за 10 лет (2012–2021 гг.) в крупномасштабных ЧС в России, проанализированных в статье, были спасены 154 560 чел., в том числе в природных – 145 380, техногенных – 9 180 чел.

### Заключение

Показатели отечественных крупномасштабных ЧС и их последствий, проиндексированные в EM-DAT и российской базе данных, выявили отличия, которые касались в первую очередь методических оценок последствий ЧС, недооценке числа российских крупномасштабных ЧС и пострадавших в них, при значительном большем количестве погибших как в природных, так и техногенных ЧС.

Статистические показатели различались не по всем изученным параметрам, сказалась также высокая конгруэнтность трендов рисков погибнуть и быть пострадавшими в крупномасштабных ЧС, за исключением техногенных ЧС.

И все-таки использовать показатели отечественных крупномасштабных ЧС, проиндексированных в EM-DAT, в строгих научных исследованиях нежелательно. Скорее всего, это не вина этой базы данных, многочисленные исследования показали ее объективность [4], а недостаточная интеграция российских специалистов в международные организации по учету и профилактике ЧС, в том числе с сотрудниками EM-DAT.

Российские риски гибели и быть пораженным в крупномасштабных техногенных ЧС были больше общемировых на уровне тенденций. В России имеются большие технологические и организационные возможности уменьшить риски гибели и быть пораженным в крупномасштабных техногенных ЧС.

### Список источников

1. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 68-ФЗ (с изм. и доп). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Mizutori M., Guha-Sapir D. Human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000–2019). Brussels: Centre for research on the epidemiology of disasters (CRED), UN office for disaster risk reduction (UNDRR), 2019. 29 p.
3. Акимов В.А. Общая теория безопасности жизнедеятельности в современной научной картине мира. М.: ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2018. 136 с.

4. Jones R.L., Guha-Sapir D., Tubeuf S. Human and economic impacts of natural disasters: can we trust the global data? // *Scientific Data*. 2022. Vol. 9. № 1. Art. 572. DOI: 10.1038/s41597-022-01667-x.
5. Worldwide disaster loss and damage databases: A systematic reviews / S.A. Mazhin [et al.] // *J. Edu. Health Promot*. 2021. Vol. 10. Art. 329. DOI: 10.4103/jehp.jehp\_1525\_20.
6. Guha-Sapir D., Below R. The quality and accuracy of disaster data: a comparative analyses of three global data sets. Brussels: CRED WHO, University of Louvain school of medicine, 2002. 18 p.
7. Евдокимов В.И. Крупномасштабные чрезвычайные ситуации, риски социальных и медико-биологических последствий в мире и ведущих странах (2012–2021 гг.) // *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2022. № 4. С. 83–103. DOI: 10.25016/2541-7487-2022-0-4-83-103.
8. Вострикова А.А., Морозова О.А. Усовершенствование международной базы данных ЕМ-DAT для корректного статистического учета катастроф и стихийных бедствий на примере Российской Федерации // *Технологии гражданской безопасности*. 2022. Т. 19. № 1 (71). С. 87–94. DOI: 10.54234/CST.19968493.2022.19.1.71.18.87.
9. Вострикова А.А., Морозова О.А. Мировые интеграционные процессы в области статистического учета катастроф и стихийных бедствий // *Технологии гражданской безопасности*. 2021. Т. 18. № 5. С. 185–192. DOI: 10.54234/CST.19968493.2021.18.5.25.185.
10. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2021 году: гос. докл. М.: Акад. гражданской защиты МЧС России, 2022. 251 с.
11. О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: постановление Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007 г. № 304 (с изм. и доп). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
12. Артюхин В.В., Морозова О.А. Крупномасштабные чрезвычайные ситуации. Понятие и статистическая повторяемость // *Технологии гражданской безопасности*. 2021. Т. 18. № 1 (67). С. 8–15. DOI: 10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.2.8.
13. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Финансы и статистика: Инфра-М, 2001. 320 с.

## References

1. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 68-FZ (с изм. и доп). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Mizutori M., Guha-Sapir D. Human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000–2019). Brussels: Centre for research on the epidemiology of disasters (CRED), UN office for disaster risk reduction (UNDRR), 2019. 29 p.
3. Akimov V.A. Obshchaya teoriya bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti v sovremennoj nauchnoj kartine mira. M.: VNII GOCHS (FC), 2018. 136 s.
4. Jones R.L., Guha-Sapir D., Tubeuf S. Human and economic impacts of natural disasters: can we trust the global data? // *Scientific Data*. 2022. Vol. 9. № 1. Art. 572. DOI: 10.1038/s41597-022-01667-x.
5. Worldwide disaster loss and damage databases: A systematic reviews / S.A. Mazhin [et al.] // *J. Edu. Health Promot*. 2021. Vol. 10. Art. 329. DOI: 10.4103/jehp.jehp\_1525\_20.
6. Guha-Sapir D., Below R. The quality and accuracy of disaster data: a comparative analyses of three global data sets. Brussels: CRED WHO, University of Louvain school of medicine, 2002. 18 p.
7. Evdokimov V.I. Krupnomasshtabnye chrezvychajnye situacii, riski social'nyh i mediko-biologicheskikh posledstvij v mire i vedushchih stranah (2012–2021 gg.) // *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situacijah*. 2022. № 4. S. 83–103. DOI: 10.25016/2541-7487-2022-0-4-83-103.

8. Vostrikova A.A., Morozova O.A. Uovershenstvovanie mezhdunarodnoj bazy dannyh EM-DAT dlya korrektnogo statisticheskogo ucheta katastrof i stihijnyh bedstvij na primere Rossijskoj Federacii // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2022. T. 19. № 1 (71). S. 87–94. DOI: 10.54234/CST.19968493.2022.19.1.71.18.87.

9. Vostrikova A.A., Morozova O.A. Mirovye integracionnye processy v oblasti statisticheskogo ucheta katastrof i stihijnyh bedstvij // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2021. T. 18. № S. S. 185–192. DOI: 10.54234/CST.19968493.2021.18.S.25.185.

10. O sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera v 2021 godu: gos. dokl. M.: Akad. grazhdanskoj zashchity MCHS Rossii, 2022. 251 s.

11. O klassifikacii chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera: postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 21 maya 2007 g. № 304 (s izm. i dop). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

12. Artyuhin V.V., Morozova O.A. Krupnomasshtabnye chrezvychajnye situacii. Ponyatie i statisticheskaya povtoryaemost' // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2021. T. 18. № 1 (67). S. 8–15. DOI: 10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.2.8.

13. Afanas'ev V.N., Yuzbashev M.M. Analiz vremennyh ryadov i prognozirovaniye. M.: Finansy i statistika: Infra-M, 2001. 320 s.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 31.03.2023; одобрена после рецензирования: 13.04.2023; принята к публикации: 19.04.2023

#### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 31.03.2023; approved after review: 13.04.2023; accepted for publication: 19.04.2023

#### *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>

**Арсланов Артем Минирович**, заместитель начальника отдела пожарной статистики Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), e-mail: otдел-16@vniipo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8469-8658>

**Копченев Владимир Николаевич**, старший научный сотрудник отдела пожарной статистики Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), e-mail: otдел-16@vniipo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4026-935X>

#### *Information about the authors:*

**Evdokimov Vladimir I.**, chief researcher of the All-Russian center for emergency and radiation medicine named after A.M. Nikiforov of EMERCOM of Russia (194044, Saint-Petersburg, akad. Lebedeva, D. 4/2), doctor of medical sciences, professor, e-mail: 9334616@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0771-2102>

**Arslanov Artem M.**, deputy head of the fire statistics department of the All-Russian order of the Badge of Honor of the Research institute of fire defense of EMERCOM of Russia (143903, Moscow region, Balashikha, mkr. VNIPO, 12), e-mail: otдел-16@vniipo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8469-8658>

**Kopchenov Vladimir N.**, senior researcher of the department of fire statistics of the All-Russian order of the Badge of Honor of the Research institute of fire defense of EMERCOM of Russia (143903, Moscow region, Balashikha, mkr. VNIPO, 12), e-mail: otдел-16@vniipo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4026-935X>

Научная статья

УДК 629.127.4-52:62.501.55-531.501

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В СФЕРЕ ЗАДАЧ МЧС РОССИИ**

✉Турсенев Сергей Александрович.

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

✉Маевский Андрей Михайлович.

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,  
Санкт-Петербург, Россия.

Занин Владислав Юрьевич.

АО «НПП ПТ «Океанос», Санкт-Петербург, Россия

✉stursenev@yandex.ru

✉maevskiy\_andrey@mail.ru

*Аннотация.* Одним из перспективных направлений совместных исследований Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, АО НПП ПТ «Океанос» и Санкт-Петербургского государственного морского технического университета сегодня является развитие технологий применения групп морских робототехнических комплексов в области мониторинга и патрулирования подводных потенциально опасных объектов для предупреждения возможных чрезвычайных ситуаций. Развитие данного направления может оказаться полезным для выполнения задач по мониторингу и анализу состояния подводных потенциально опасных объектов, а также идентификации, классификации и составления прогностических моделей распространения, имеющих в акватории загрязнений.

*Ключевые слова:* морская робототехника, подводные потенциально опасные объекты, подводные аппараты, подводный глайдер, волновой глайдер, системы управления, системы планирования

**Для цитирования:** Турсенев С.А., Маевский А.М., Занин В.Ю. Использование нейронных сетей для систем планирования перемещения робототехнических комплексов в сфере задач МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 26–39.

Scientific article

## **THE USE OF NEURAL NETWORKS FOR SYSTEMS FOR PLANNING THE MOVEMENT OF ROBOTIC COMPLEXES IN THE FIELD OF TASKS OF EMERCOM OF RUSSIA**

✉Tursenev Sergey A.

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

✉Maevskiy Andrey M.

Saint-Petersburg state marine technical university, Saint-Petersburg, Russia.

Zanin Vladislav Yu.

JSC «Oceanos», Saint-Petersburg, Russia

✉stursenev@yandex.ru

✉maevskiy\_andrey@mail.ru

*Abstract.* One of the promising areas of joint research by the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, JSC «Oceanos» and Saint-Petersburg state marine technical university today is the development of technologies for the use of groups of marine



robotic systems in the field of monitoring and patrolling underwater potentially dangerous objects. The development of this direction may be useful for performing tasks of associated patrolling and analysis of the state of the underwater potentially dangerous objects, as well as for identifying, classifying and compiling predictive models for the spread of pollution present in the water area.

**Keywords:** marine robotics, underwater potential hazardous objects, underwater vehicles, underwater glider, wave glider, control systems, planning systems

**For citation:** Tursenev S.A., Maevskiy A.M., Zanin V.Yu. The use of neural networks for systems for planning the movement of robotic complexes in the field of tasks of EMERCOM of Russia // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 26–39.

### Введение

В настоящее время за рубежом происходит интенсивное внедрение систем морской робототехники в экстренные службы спасения. Примером тому является проект ICARUS [1–2], направленный на интеграцию робототехнических комплексов различного типа в единую комплексную систему [3–4]. В том числе, в данном проекте ведутся разработки в области применения групповых робототехнических систем для решения задач мониторинга и обследования мест возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) [5–7].

Для решения задач, связанных с обнаружением и спасением пострадавших в случае возникновения ЧС, разработчиками рассматривается использование связки традиционных надводных робототехнических комплексов (РТК). Подобные стратегии были проработаны и подробно описаны в работах [8–9], где рассматриваются технологии создания и управления морских РТК (МРТК), способных идентифицировать пострадавших и обеспечить к ним доставку спасательного плавсредства (рис. 1).

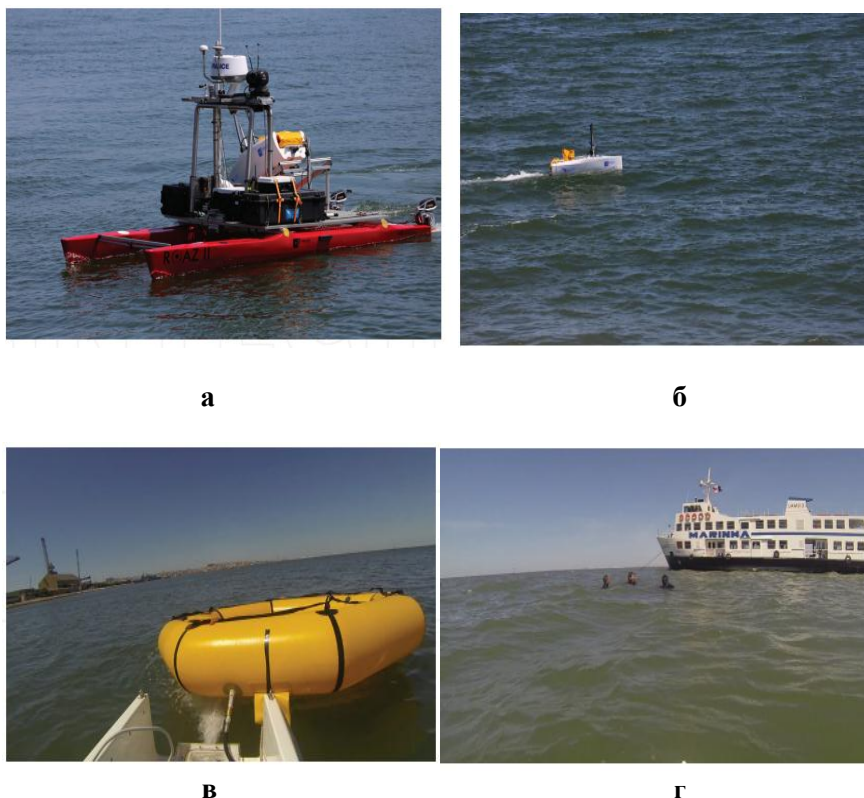


Рис. 1. Технологии создания и управления МРТК, способных идентифицировать пострадавших и обеспечить к ним доставку спасательного плавсредства:  
 а – надводный автономный аппарат ROAZ; б – автономная капсула, буксирующая спасательное средство (рис. в) к месту обнаружения пострадавших (рис. г)

Представленный на рис. 1 комплекс работает полностью в автономном режиме. Разработанная система автоматического управления позволяет комплексу самостоятельно осуществить разворачивание капсулы с борта автономного аппарата с последующим сбросом спасательного средства и его доставкой к месту ЧС.

Подобные комплексы практически автономны, то есть способны самостоятельно предпринимать определенную последовательность действий в зависимости от ЧС и состояния окружающей среды. Но, к сожалению, разработчики не всегда могут учесть в полном объеме непредвиденные (недетерминированные) воздействия со стороны окружающей среды. Дополнительные ограничения на автономность накладывает сложность организации внутригруппового взаимодействия между аппаратами комплекса. Таким образом, формирование реально автономного или интеллектуального взаимодействия группы аппаратов МРТК для решения задач мониторинга и патрулирования подводных потенциально опасных объектов (ППО) является более трудоемкой и сложной задачей, так как требует многопрофильной проработки комплекса алгоритмов и принципов управления и планирования МРТК.

Имеющиеся в настоящее время разработки по применению гетерогенных групп РТК в целях обеспечения задач по предупреждению ЧС представлены в работе [10], где авторами прорабатываются вопросы использования различных типов РТК (рис. 2).

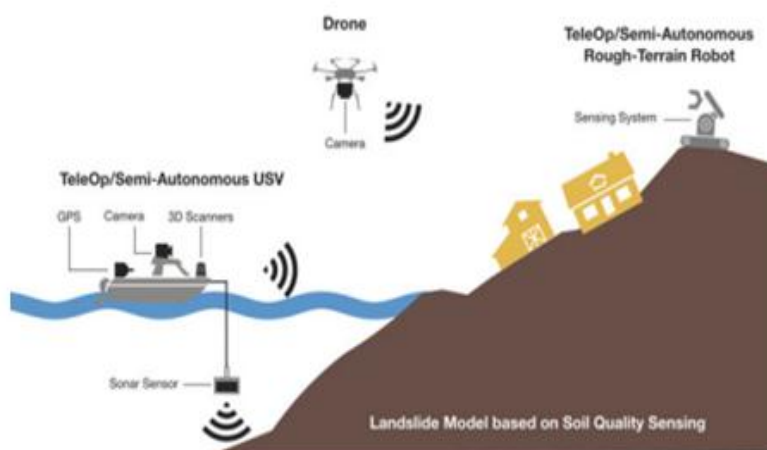


Рис. 2. Схематичный пример работы гетерогенной группы РТК для решения задач мониторинга и обследования

К примеру, в качестве технических средств, применяемых в автоматической системе поиска и информирования о пострадавших в случае возникновения ЧС, разрабатываемой в рамках проекта Авалон, финансируемого Министерством экономики и энергетики Германии, применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), выполняющие патрулирование заданного сектора, в котором искусственный интеллект (ИИ) определяет и классифицирует объекты, находящиеся в зоне видимости сенсорной системы БПЛА [11]. На рис. 3 наглядно показана сложность выполнения комплексных работ, связанных с обнаружением ППО и обследованием ППО, а также поиском и спасением пострадавших в случае возникновения ЧС на море.

Система объединяет в себе многоуровневую алгоритмическую архитектуру (как видно из рис. 3, состоящую из 8 подсистем), а также множество алгоритмов, обеспечивающих перемещение БПЛА в трехмерном пространстве, связь БПЛА с береговым пунктом управления, модулей ИИ, определяющих и классифицирующих объекты в зоне видимости системы технического зрения, и многие другие подсистемы.



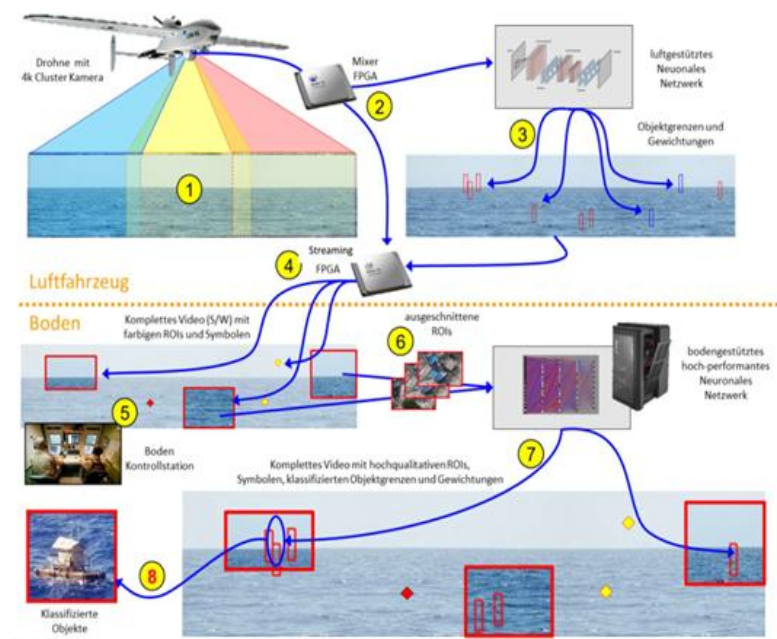


Рис. 3. Схематичное представление частного случая комплексного алгоритма обследования, поиска и спасения пострадавших в случае возникновения ЧС на море

Причем и в столь сложном виде приведенный частный случай не охватывает всех аспектов мониторинга среды при ЧС. Так, конкретно в нем еще не рассмотрена задача мониторинга водной толщи, требующая не только наличия подводных аппаратов МРТК, но и обеспечения межсредного шлюза связи в режиме онлайн для доведения информации от подводных аппаратов МРТК до берегового пункта управления без потерь времени на всплытие. Данная задача при использовании гетерогенных РТК в настоящее время находит решение [12], в том числе и в применении БПЛА типа «квадрокоптер», оснащенных как радиосвязью (канал БПЛА – береговой пульт управления), так системой беспроводной оптической связи и/или опускаемыми станциями гидроакустической связи (каналы связи БПЛА – подводный аппарат МРТК) [13] (рис. 4).

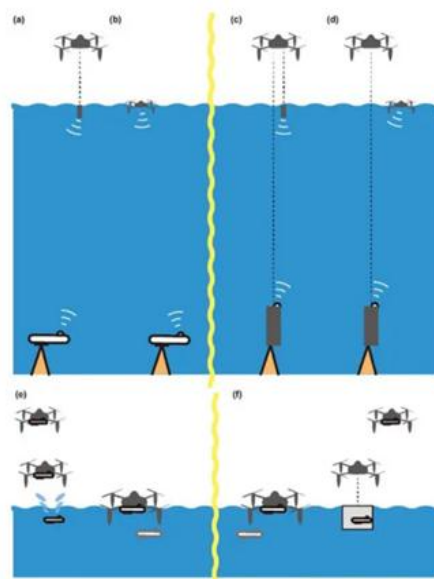


Рис. 4. Схематичное представление организации межсредных шлюзов связи между воздушными и подводными аппаратами гетерогенного МРТК

## Текущие развитие систем мониторинга ППОО в Российской Федерации

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2003 г. № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» в 2013 г. было утверждено Положение о единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (Положение). Согласно Положению одной из создаваемых МЧС России функциональных подсистем единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС является функциональная подсистема предупреждения и ликвидации ЧС на ППОО во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации. Ключевой задачей функциональной подсистемы является предупреждение ЧС на ППОО, а также обследование и оперативный контроль состояния ППОО на водных объектах с целью прогнозирования и оценки последствий возможных ЧС. ППОО – суда, иные плавсредства, космические и летательные аппараты, в том числе их элементы, и другие технические средства, а также боеприпасы, элементы оборудования и установки, полностью или частично затопленные во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации в результате аварийных происшествий или захоронений, содержащие ядерные материалы, радиоактивные, химические, отравляющие, взрывчатые и другие опасные вещества, создающие угрозу возникновения ЧС [14].

С целью выполнения поставленных задач, подробно описанных в Положении о единой государственной системе предупреждения и ликвидации ЧС, ведомства МЧС России должны обеспечивать ежегодное обследование и оперативный контроль имеющихся захоронений радиоактивных отходов в северных и дальневосточных морях с учетом получения и обработки данных о ППОО для прогнозирования и оценки последствий возможных ЧС. На данный момент Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (СПбУ ГПС МЧС России) ведет исследование в направлении проработки возможностей применения специализированных робототехнических систем для проведения работ по обследованиям ППОО. К таким средствам можно отнести подводные РТК глайдерного типа [15–17]. В тоже время необходима параллельная разработка модели и методики их применения [18–19] для достижения наилучшего результата.

На данный момент в открытых источниках опубликовано, что во внутренних водах Российской Федерации находятся более 17 тыс. контейнеров с радиоактивными отходами (РАО), три атомные подводные лодки (АПЛ), баржа с реактором, выгруженным из АПЛ, пять реакторных отсеков с корабельными и судовыми ядерными энергетическими установками, 19 судов, в том числе более 700 радиоактивных конструкций и блоков [20]. Также многие из перечисленных ППОО располагаются в Арктической зоне Российской Федерации.

Контроль загрязнений воды радионуклидами и отравляющими веществами позволяет на ранней стадии зафиксировать начало развития возможной ЧС, принять меры по минимизации попадания опасных веществ в организм человека и, таким образом, контролировать безопасность ППОО. Одним из основных условий возможности предупреждения развития ЧС является оперативность получения данных о загрязнении.

Для решения поставленных задач СПбУ ГПС МЧС России, АО НПП ПТ «Океанос» и Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом (СПбГМТУ) предложено использование разнородной группы МРТК для контроля безопасности ППОО и сопутствующих технологий, обеспечивающих групповое взаимодействие МРТК. Основными преимуществами применения данных МРТК являются: высокая автономность выполнения обследования ППОО, выполнения задачи мониторинга, оперативность получения данных, большая площадь покрытия морской территории.

В качестве полезной нагрузки на аппараты могут быть установлены:

- многопараметрические зонды, получающие информацию о таких параметрах, как скорость звука в воде, температуры, солености, электропроводимости [21–22];
- лазерные датчики для определения концентрации метана в воде [23];
- датчики для определения уровня нефтяного загрязнения;

– датчики химических веществ, радионуклидов, фотосинтетического активного излучения в воде и т.д. [24–26].

В качестве примера модели применения группы, состоящей из подводного и волнового глайдера (рис. 5), рассмотрим типовой сценарий обследования территории, на которой расположены три ППОО, связанные с мониторингом нескольких ППОО, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. Аппараты способны в автоматическом режиме выполнять заданные миссии по сбору данных о загрязнении воды, в том числе обеспечивая автономный переход из района выпуска в район мониторинга (рис. 5 (в)).

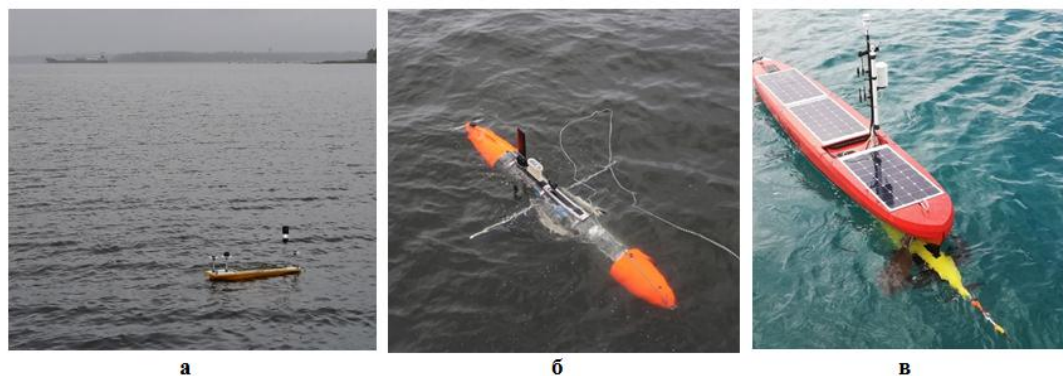


Рис. 5. Ходовые стенды МРТК подводного и волнового глайдеров в натурных экспериментах:  
а – отечественный волновой глайдер; б – отечественный подводный глайдер;  
в – волновой глайдер Autonaut в МРТК с подводным глайдером Seaglider

### Формальная постановка задачи мониторинга и обследования ППОО и возможные варианты ее решения

Формализованная постановка задачи, описанной выше, представлена на (рис. 6). Предполагается, что у каждого ППОО имеется собственный регион загрязнения из объектов, есть область распространения загрязнений. В зависимости от того, известен ли заранее размер и площадь данной области, можно рассмотреть различные варианты проведения обследования (или покрытия этой зоны). Если область распространения неизвестна, аппарат может двигаться от точки затопления объекта по спирали, постепенно получая данные о распространении загрязнений. Если регион известен заранее, автономная система планирования самостоятельно может сформировать принцип покрытия территории, опираясь на эвристики, заложенные в нее до начала миссии. Также возможна реализация выбора траектории с помощью алгоритма RRT [27] и интеллектуальной системы планирования [28]. Полученные параметры с модулей полезной нагрузки с учетом привязки данных к координатам и времени могут обеспечить оперативное построение модели загрязнения (или возможного загрязнения) на борту исследовательского судна или берегового поста управления.

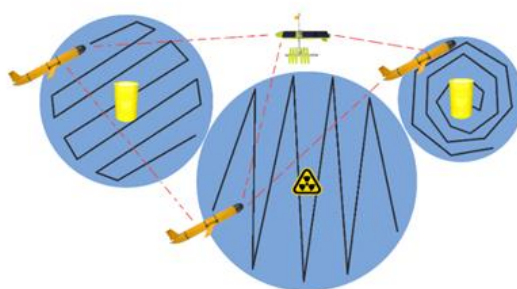
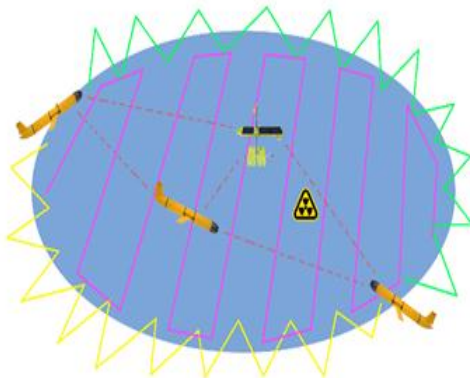


Рис. 6. Схематичное представление модели применения группы из подводного и волнового глайдера для решения задачи обследования нескольких мест нахождения ППОО

В случае, когда необходимо обеспечить обследование одного ППОО, также имеются варианты как одиночного, так и группового применения связки подводного и волнового глайдера (рис. 7).



**Рис. 7. Пример модели использования гетерогенной группы МРТК для мониторинга области загрязнения: сплошные линии обозначают траектории движения; пунктирные линии обозначают информационную сеть**

Как видно на рис. 7, группа из двух подводных глайдеров обеспечивает полное покрытие заданной области акватории как по периметру (перемещение глайдера по желтой и зеленой траектории), так и по внутренней площади (галсы). Волновой глайдер, в свою очередь, выполняет корректирующую функцию, обеспечивая надводный связующий узел между глайдерами и пунктом контроля и управления. Предложенная модель применения группы аппаратов позволяет проводить мониторинг в короткие сроки и с повышенным качеством.

Применение МРТК в современных условиях, как правило, подразумевает выполнение задач без предварительного детального картографирования в больших открытых акваториях с различной глубиной, рельефом дна и постоянно меняющимися воздействиями на периодических и аperiodических основах. Помимо этого, подводная среда накладывает существенные ограничения на возможность применения сенсорных систем роботов, системы связи и навигации, выставляет дополнительные требования по учету энергетической, конструкционной специфики управляемого объекта и условий района планируемых работ. Для учета данных особенностей функционирования авторы решили проработать вопрос создания такой системы планирования и перемещения группы МРТК, в составе которой можно было бы использовать технологии ИИ и машинного обучения, что позволило бы повысить автономность и расширить функциональность применения группы МРТК, в том числе для применения в разнородной группе МРТК, состоящей из подводных и волновых глайдеров, для решения задач МЧС России, применение которых сейчас тщательно прорабатывается коллективами СПбУ ГПС МЧС России, АО НПП ПТ «Океанос» и СПбГМТУ [29–30].

Разрабатываемая система имеет следующую архитектуру и включает в себя следующие модули:

- модуль глобального планирования, позволяющий обеспечить перемещение объекта в среде без наличия предварительного картографирования, на основе метода RRT\*.
  - Авторами была проведена адаптация алгоритма для его использования в условиях морской среды;
  - модуль логики взаимодействия между агентами группы, формирующий адаптивную область взаимодействия группы, а также модуль системы единого поля видимости группы.
- Совокупность этих двух модулей позволяет обеспечить интеллектуальную систему планирования принятием наилучших решений в процессе работы группы МРТК;



– модули нейросетевого планирования одиночного агента и группы МРТК в целом, обеспечивающая формирование управляющих сигналов на исполнительные механизмы каждого агента группы и организацию внутригрупповых алгоритмов взаимодействия агентов друг с другом.

Архитектура разрабатываемой интеллектуальной системы планирования представлена на рис. 8.

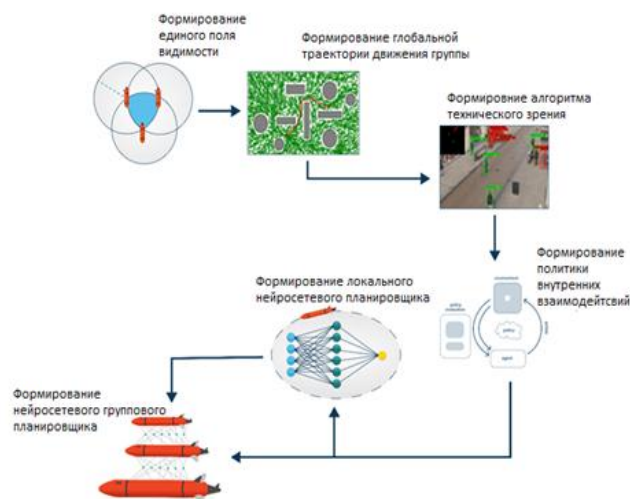


Рис. 8. Интеллектуальная система планирования перемещения группы МРТК для решения задач обнаружения, обследования и мониторинга ППО

Был разработан комплекс моделирования, в основе которого лежит фреймворк ROS и входящие в его состав программные компоненты Gazebo и Rviz. В качестве двухмерной модели для первоначальной отработки использовалась модель turtlebot3.

Результаты проведенного имитационного моделирования перемещения группы МРТК и натурного эксперимента представлены на рис. 9, 10.

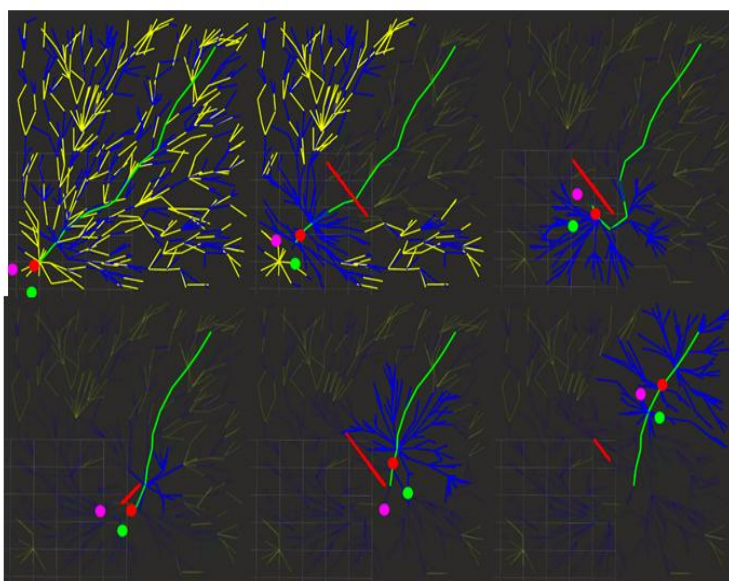
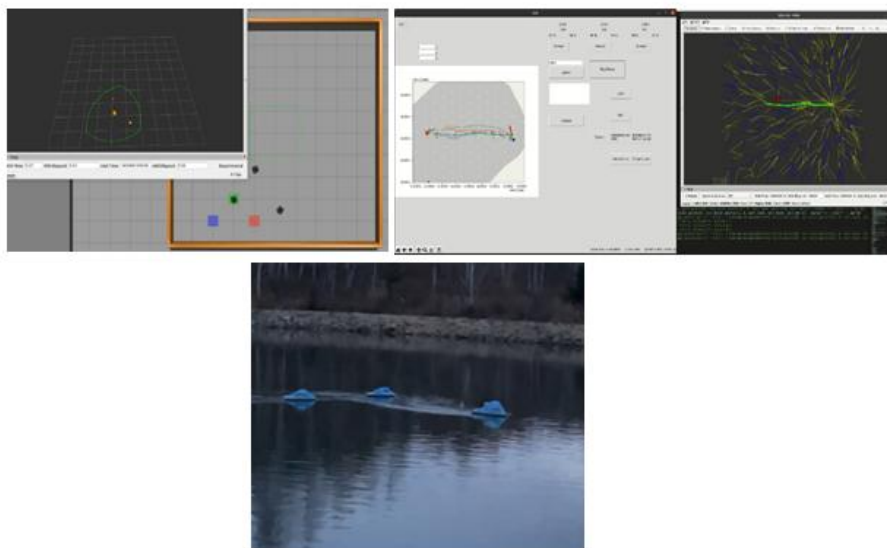


Рис. 9. Формирование глобальной траекторий перемещения группы МРТК при имитационном моделировании в АО НПП ПТ «Океанос»

Следует отметить, что алгоритм RRT, формирующий глобальную траекторию (зеленая), в данном случае был улучшен таким образом, что при движении точки группы происходит смена «корня» дерева (центр группы). Это позволяет более эффективно находить новый путь за счет перестроения структуры дерева (синие ветви) в режиме реального времени (затемненные ветви, не принимают участие в дальнейшем формировании траектории). Также данная доработка позволяет существенно сократить используемые вычислительные мощности на борту аппарата.



**Рис. 10. Проведение натурального эксперимента АО НПП ПТ «Океанос» на макетах мини-катеров, имитирующих подводные и волновой глайдеры, с учетом формирования адаптивной области взаимодействия группы МРТК**

### Заключение

Представленный в работе подход к обследованию и анализу ППОО, а также возможных загрязнений заданного региона основан на применении группы морских робототехнических систем глайдерного типа. Применение такой группы потенциально позволяет осуществить оперативное пространственное 3D обследование области загрязнения, сформировать уточненные пространственные контуры загрязнения в режиме реального времени, обеспечить построение прогностических моделей большой достоверности. Целесообразность применения подводных и волновых глайдеров рассмотрена на формализованных примерах решения задач по обследованию и мониторингу региона ППОО, а также обеспечивается потенциальная увязка с робототехническими технологиями резидентного базирования в составе морских мониторинговых обсерваторий [31–34], что позволяет существенно сократить время и стоимость работ с одновременным повышением эффективности.

Технологии ИИ способны во многом облегчить и расширить функциональные возможности применения групп МРТК. Системы интеллектуальной идентификации и кластеризации способны предоставлять необходимую информацию о месторасположении точек возникновения ЧС или ППОО, характере ЧС, наличии в зоне ЧС пострадавших и многое другое. Наличие такого количества параметров, характеризующих область функционирования группы МРТК, позволяет, в свою очередь, реализовать интеллектуальные технологии планирования действия как однородной, так и разнородной группы роботов.

Представленная в работе система демонстрирует возможность применения нейросетевых подходов и методов машинного обучения, позволяющих сформировать логику внутригруппового взаимодействия между агентами группы МРТК.

Дальнейшая разработка отдельных модулей глубокого обучения агентов в группе на основе данных от систем технического зрения, модулей полезной нагрузки и модулей навигации МРТК позволит реализовать масштабируемую, децентрализованную систему группового управления МРТК.

Разработанный программно-имитационный комплекс на основе систем ROS, Rviz, Gazebo и библиотек машинного обучения позволяет моделировать сценарии применения МРТК в решении задач обнаружения, патрулирования и мониторинга ППО с учетом возможности программно-аппаратной отработки и верификации на имеющихся макетах мини-катеров, автономных необитаемых подводных аппаратах и других образцов РТК.

Моделирование проводилось в условиях 2D функционирования, однако имеющаяся архитектура и модульный принцип построения системы планирования позволяет реализовать систему в условиях применения в трехмерных средах, что является дальнейшим направлением работы авторов.

Успех выполняемых работ также обеспечивается устойчивым обеспечением связи между агентами МРТК. В подводной среде связь и навигация осуществляется посредством комбинированного гидроакустического модема – системы навигации с ультракороткой базы разработки и производства СПбГМУ (35), в воздушной среде связь осуществлена через Wi-Fi и Lora каналы.

Имеющийся на данный момент экспериментальный образец МРТК мониторинга ППО в составе подводного и волнового глайдера, а также представленные наработки апробированы в ходе проведения межведомственного опытно-исследовательского учения сил и средств единой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации («Безопасная Арктика – 2023») в апреле 2023 г. для решения опытно-исследовательской задачи по мониторингу радиационной обстановки в зоне условной аварии на атомном ледоколе в г. Мурманске.

#### **Список источников**

1. Robotic systems and applications / A. Kakogawa [et al.] // InTech. 2020.
2. 3D registration and integrated segmentation framework for heterogeneous unmanned robotic systems / H. Balta [et al.] // Remote Sensing. 2020. Vol. 12. Iss. 10. P. 1608.
3. Baudoin Y., De Cubber G., Cepolina E. Mobile robots supporting risky interventions, humanitarian actions and demining, in particular the promising DISARMADILLO Tool // Robotics for risky interventions and environmental surveillance: in proceedings of TC17-VRISE2021 – A VIRTUAL topical event of technical committee on measurement and control of robotics (TC17), International measurement confederation (IMEKO). Houston, TX, USA, 2021. P. 5–6.
4. Demonstrating interoperability between unmanned ground systems and command and control systems / K. Mathiassen [et al.] // International journal of intelligent defence support systems. 2021. Vol. 6. Iss. 2. P. 100–129.
5. Operational validation of search and rescue robots / G. De Cubber [et al.] // Search and rescue robotics – from theory to practice. InTech. 2017.
6. Interoperability in a heterogeneous team of search and rescue robots / D.S. López [et al.] // Search and rescue robotics – from theory to practice. InTech. 2017.
7. A proof of concept of the in-flight launch of unmanned aerial vehicles in a search and rescue scenario / N. Nauwynck [et al.] // ACTA IMEKO. 2019. Vol. 8. Iss. 4. P. 13–19.
8. Ferreira B., Matos A., Alves J. Water jet propelled autonomous surface vehicle UCAP: System description and control // Proceedings of MTS/IEEE Oceans 2016 Shanghai conference. Shanghai, China: IEEE, 2016.
9. Field experiments for marine casualty detection with autonomous surface vehicles / A. Martins [et al.] // Proceedings of MTS/IEEE Oceans 2013 San Diego conference. San Diego, USA: IEEE, 2013.

10. A detection method of the rescue targets in the marine casualty based on improved YOLOv5s / Bai Jing [et al.] // *Frontiers in neurorobotics*. 2022. Vol. 16. DOI: 10.3389/fnbot.2022.1053124.
11. What is the goal of Avalon? // *SeaDronesSee*. URL: <https://seadronessee.cs.uni-tuebingen.de/avalon> 2023 (дата обращения: 13.01.2023).
12. Zolich A. Thesis highlights how unmanned vehicles can be utilised to boost selected maritime natural sciences research scenarios in remote locations, such as the Arctic. Trondheim: Norwegian university of science and technology, 2019.
13. Yusuke Yokota, Takumi Matsuda. Underwater communication using UAVs to realize high-speed AUV deployment // *Remote Sens*. 2021. № 13 (20). 4173. DOI: 10.3390/rs13204173.
14. Вялышев А.Н. МЧС России и подводные потенциально опасные объекты // *Технологии гражданской безопасности*. 2017. № 1 (51). Т. 14. С. 4–10.
15. Разработка автономных необитаемых подводных глайдеров / И.В. Кожемякин [и др.] // *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2013. № 3 (140). С. 31–39.
16. Гайкович Б.А., Занин В.Ю. Вопросы создания семейства морских глайдеров как элементов глобальной системы морской безопасности // *Перспективные системы и задачи управления: материалы IX науч.-практ. конф.* 2014. С. 211–218.
17. Волновой глайдер как элемент морской глобальной информационно-измерительной системы / И.В. Кожемякин [и др.] // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2015. С. 59–71.
18. Гайкович Б.А., Занин В.Ю., Кожемякин И.В. Аспекты практического применения подводных глайдеров на базе опытной эксплуатации // *Новый оборонный заказ*. 2016. № 4 (41). С. 78–81.
19. Применение подводных глайдеров для геолого-разведки // *RoboTrends*.
20. Проблемы радиационной реабилитации арктических морей, способы и пути их решения / А.А. Саркисов [и др.] // *Арктика. Экология и экономика*. 2011. № 1. С. 70–81.
21. Howatt T., Ross T., Waterman S. University of British Columbia; Institute of ocean sciences ocean gliders to study baleen whale habitat in roseway basin.
22. Fuchs H.L., Gerbi G.P. Seascape-level variation in turbulence- and wave-generated hydrodynamic signals experienced by plankton // *Prog. Oceanogr*. 2016. № 141. P. 109–129.
23. Using autonomous underwater gliders for geochemical exploration surveys / M. Russell-Cargill Louise [et al.] // *The APPEA Journal*. 2018. № 58. P. 367–380.
24. Thomas J. Ryan-Keogh, Walker O. Smith. Temporal patterns of iron limitation in the Ross Sea as determined from chlorophyll fluorescence // *Journal of marine systems*. 2021. № 215:103500.
25. FIRE glider: Mapping in situ chlorophyll variable fluorescence with autonomous underwater gliders / F. Carvalho [et al.] // *Limnol oceanogr methods*. 2020. № 18. P. 531–545.
26. Электронный каталог оборудования ООО «СИТИКРИМ» на вэб-ресурсе. URL: [http://seatechrim.ru/levre\\_menyu/oborudovanie1/analiz\\_morskoj\\_vody/datchiki/](http://seatechrim.ru/levre_menyu/oborudovanie1/analiz_morskoj_vody/datchiki/) (дата обращения: 14.10.2022).
27. Maevskiy A., Gorelyi A., Morozov R. Development of a hybrid method for planning the movement of a group of marine robotic complexes in a priori unknown environment with obstacles // *22nd International conference of young professionals in electron devices and materials*. 2021.
28. Интеллектуальное планирование траекторий подвижных объектов в средах с препятствиями / В.Х. Пшихопов [и др.] // *ФИЗМАТЛИТ*. 2014. № 595.
29. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка гибридных автономных необитаемых аппаратов для исследования месторождений углеводородов // *Вести газовой науки*. 2019. № 2 (39). С. 29–40.
30. Разработка и исследование позиционно-траекторного регулятора для управления движением подводного глайдера / Б.В. Гуренко [и др.] // *Инженерный вестник Дона*. 2019. № 6 (57). P. 20.



31. Маевский А.М., Печайко И.А., Турсенев С.А. Применение морских робототехнических комплексов для мониторинга и анализа потенциально опасных подводных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 2 (62). С. 32–39.

32. Маевский А.М., Занин В.Ю., Турсенев С.А. Применение групп автономных необитаемых подводных аппаратов планерного типа в качестве систем мониторинга подводных потенциально-опасных объектов на примере мониторинга экологического состояния акватории при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 2. С. 25–32.

33. Занин В.Ю., Кожемякин И.В., Маевский А.М. Использование морской робототехники в задачах оперативной океанографии: отечественный и зарубежный опыт // Морские информационно-управляющие системы. 2020. № 1 (17). С. 94–102.

34. Разработка элементов подводных робототехнических резидентных систем на примере отечественного автономного необитаемого подводного аппарата интервенционного класса и сопутствующих технологий / В.Ю. Занин [и др.] // Междунар. конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа: сб. работ лауреатов 2019 г. 2019. С. 14–22.

35. Кожемякин И.В. Инновационные технологии морской робототехники // Санкт-Петербургский вестник высшей школы. 2020. № 10 (165).

## References

1. Robotic systems and applications / A. Kakogawa [et al.] // InTech. 2020.
2. 3D registration and integrated segmentation framework for heterogeneous unmanned robotic systems / H. Balta [et al.] // Remote Sensing. 2020. Vol. 12. Iss. 10. P. 1608.
3. Baudoin Y., De Cubber G., Cepolina E. Mobile robots supporting risky interventions, humanitarian actions and demining, in particular the promising DISARMADILLO Tool // Robotics for risky interventions and environmental surveillance: in proceedings of TC17-VRISE2021 – A VIRTUAL topical event of technical committee on measurement and control of robotics (TC17), International measurement confederation (IMEKO). Houston, TX, USA, 2021. P. 5–6.
4. Demonstrating interoperability between unmanned ground systems and command and control systems / K. Mathiassen [et al.] // International journal of intelligent defence support systems. 2021. Vol. 6. Iss. 2. P. 100–129.
5. Operational validation of search and rescue robots / G. De Cubber [et al.] // Search and rescue robotics – from theory to practice. InTech. 2017.
6. Interoperability in a heterogeneous team of search and rescue robots / D.S. López [et al.] // Search and rescue robotics – from theory to practice. InTech. 2017.
7. A proof of concept of the in-flight launch of unmanned aerial vehicles in a search and rescue scenario / N. Nauwynck [et al.] // ACTA IMEKO. 2019. Vol. 8. Iss. 4. P. 13–19.
8. Ferreira B., Matos A., Alves J. Water jet propelled autonomous surface vehicle UCAP: System description and control // Proceedings of MTS/IEEE Oceans 2016 Shanghai conference. Shanghai, China: IEEE, 2016.
9. Field experiments for marine casualty detection with autonomous surface vehicles / A. Martins [et al.] // Proceedings of MTS/IEEE Oceans 2013 San Diego conference. San Diego, USA: IEEE, 2013.
10. A detection method of the rescue targets in the marine casualty based on improved YOLOv5s / Bai Jing [et al.] // Frontiers in neurorobotics. 2022. Vol. 16. DOI: 10.3389/fnbot.2022.1053124.
11. What is the goal of Avalon? // SeaDronesSee. URL: <https://seadronessee.cs.uni-tuebingen.de/avalon> 2023 (data obrashcheniya: 13.01.2023).
12. Zolich A. Thesis highlights how unmanned vehicles can be utilised to boost selected maritime natural sciences research scenarios in remote locations, such as the Arctic. Trondheim: Norwegian university of science and technology, 2019.

13. Yusuke Yokota, Takumi Matsuda. Underwater communication using UAVs to realize high-speed AUV deployment // *Remote Sens.* 2021. № 13 (20). 4173. DOI: 10.3390/rs13204173.
14. Vyalyshev A.N. MCHS Rossii i podvodnye potencial'no opasnye ob"ekty // *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti.* 2017. № 1 (51). T. 14. C. 4–10.
15. Razrabotka avtonomnyh neobitaemyh podvodnyh glajderov / I.V. Kozhemyakin [i dr.] // *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* 2013. № 3 (140). S. 31–39.
16. Gajkovich B.A., Zanin V.Yu. Voprosy sozdaniya semejstva morskikh glajderov kak elementov global'noj sistemy morskoj bezopasnosti // *Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya: materialy IX nauch.-prakt. konf.* 2014. S. 211–218.
17. Volnovoj glajder kak element morskoy global'noj informacionno-izmeritel'noj sistemy / I.V. Kozhemyakin [i dr.] // *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki.* 2015. S. 59–71.
18. Gajkovich B.A., Zanin V.Yu., Kozhemyakin I.V. Aspekty prakticheskogo primeneniya podvodnyh glajderov na baze opytnoj ekspluatatsii // *Novyj oboronnyj zakaz.* 2016. № 4 (41). S. 78–81.
19. Primenenie podvodnyh glajderov dlya geologo-razvedki // *RoboTrends.*
20. Problemy radiacionnoj reabilitatsii arkticheskikh morej, sposoby i puti ih resheniya / A.A. Sarkisov [i dr.] // *Arktika. Ekologiya i ekonomika.* 2011. № 1. S. 70–81.
21. Howatt T., Ross T., Waterman S. University of British Columbia; Institute of ocean sciences ocean gliders to study baleen whale habitat in roseway basin.
22. Fuchs H.L., Gerbi G.P. Seascape-level variation in turbulence- and wave-generated hydrodynamic signals experienced by plankton // *Prog. Oceanogr.* 2016. № 141. P. 109–129.
23. Using autonomous underwater gliders for geochemical exploration surveys / M. Russell-Cargill Louise [et al.] // *The APPEA Journal.* 2018. № 58. P. 367–380.
24. Thomas J. Ryan-Keogh, Walker O. Smith. Temporal patterns of iron limitation in the Ross Sea as determined from chlorophyll fluorescence // *Journal of marine systems.* 2021. № 215: 103500.
25. FIRE glider: Mapping in situ chlorophyll variable fluorescence with autonomous underwater gliders / F. Carvalho [et al.] // *Limnol oceanogr methods.* 2020. № 18. P. 531–545.
26. Elektronnyj katalog oborudovaniya OOO «SITIKRIM» na veb-resurse. URL: [http://seatechrim.ru/levre\\_menyu/oborudovanie1/analiz\\_morskoj\\_vody/datchiki/](http://seatechrim.ru/levre_menyu/oborudovanie1/analiz_morskoj_vody/datchiki/) (data obrashcheniya: 14.10.2022).
27. Maevskiy A., Gorelyi A., Morozov R. Development of a hybrid method for planning the movement of a group of marine robotic complexes in a priori unknown environment with obstacles // *22nd International conference of young professionals in electron devices and materials.* 2021.
28. Intellektual'noe planirovanie traektorij podvizhnyh ob"ektov v sredah s prepyatstviyami / V.H. Pshihopov [i dr.] // *FIZMATLIT.* 2014. № 595.
29. Maevskij A.M., Gajkovich B.A. Razrabotka gibridnyh avtonomnyh neobitaemyh apparatov dlya issledovaniya mestorozhdenij uglevodorodov // *Vesti gazovoj nauki.* 2019. № 2 (39). S. 29–40.
30. Razrabotka i issledovanie pozicionno-traektornogo regul'yatora dlya upravleniya dvizheniem podvodnogo glajdera / B.V. Gurenko [i dr.] // *Inzhenernyy vestnik Dona.* 2019. № 6 (57). P. 20.
31. Maevskij A.M., Pechajko I.A., Tursenev S.A. Primenenie morskikh robototekhnicheskikh kompleksov dlya monitoringa i analiza potencial'no opasnyh podvodnyh ob"ektov // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere.* 2021. № 2 (62). S. 32–39.
32. Maevskij A.M., Zanin V.Yu., Tursenev S.A. Primenenie grupp avtonomnyh neobitaemyh podvodnyh apparatov planernogo tipa v kachestve sistem monitoringa podvodnyh potencial'no-opasnyh ob"ektov na primere monitoringa ekologicheskogo sostoyaniya akvatorii pri likvidatsii posledstvij chrezvychajnyh situacij, svyazannyh s avariynymi razlivami nefti i nefteproduktov // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii».* 2021. № 2. S. 25–32.
33. Zanin V.Yu., Kozhemyakin I.V., Maevskij A.M. Ispol'zovanie morskoy robototekhniki v zadachah operativnoj okeanografii: otechestvennyj i zarubezhnyj opyt // *Morskie informacionno-upravlyayushchie sistemy.* 2020. № 1 (17). S. 94–102.

34. Razrabotka elementov podvodnyh robototekhnicheskikh rezidentnyh sistem na primere otechestvennogo avtonomnogo neobitaemogo podvodnogo apparata intervencionnogo klassa i soputstvuyushchih tekhnologij / V.Yu. Zanin [i dr.] // Mezhdunar. konkursa nauchnyh, nauchno-tekhnicheskikh i innovacionnyh razrabotok, napravlennyh na razvitie i osvoenie Arktiki i kontinental'nogo shel'fa: sb. rabot laureatov 2019 g. 2019. S. 14–22.

35. Kozhemyakin I.V. Innovacionnye tekhnologii morskoy robototekhniki // Sankt-Peterburgskij vestnik vysshej shkoly. 2020. № 10 (165).

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 07.03.2022; одобрена после рецензирования: 20.04.2022; принята к публикации: 21.04.2022

#### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 07.03.2022; approved after review: 20.04.2022; accepted for publication: 21.04.2022

#### *Сведения об авторах:*

**Турсенев Сергей Александрович**, начальник кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: stursenev@yandex.ru

**Маевский Андрей Михайлович**, руководитель отдела морской робототехники Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (190121, Санкт-Петербург, ул. Лодманская, д. 3), e-mail: maevskiy\_andrey@mail.ru

**Занин Владислав Юрьевич**, советник генерального директора АО «НПП ПТ «Океанос» (194295, Санкт-Петербург, ул. Есенина, д. 19)

#### *Information about the authors:*

**Tursenev Sergey A.**, head of the department of fire fighting and rescue operations 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: stursenev@yandex.ru

**Maevskiy Andrey M.**, head of marine robotics department of Saint-Petersburg state marine technical university (190121, Saint-Petersburg, Licmanckaya str., 3), e-mail: maevskiy\_andrey@mail.ru

**Zanin Vladislav Yu.**, CEO's counselor JSC «Oceanos» (194295, Saint-Petersburg, Esenina str., 19)

Научная статья  
УДК 614.8:521.1

## **АСТЕРОИДНО-КОМЕТНАЯ ОПАСНОСТЬ В СИСТЕМЕ КЛАССИФИКАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ МЧС РОССИИ**

✉ Савельев Михаил Иванович.

**Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий), Москва, Россия**

✉ [savelev-22@mail.ru](mailto:savelev-22@mail.ru)

*Аннотация.* Рассматриваются вопросы обоснования места астероидно-кометной опасности как фактора риска в системе классификации чрезвычайных ситуаций МЧС России. С позиции генезиса астероидно-кометной опасности и последствий проявления дается характеристика воздействия ее первичных и вторичных поражающих факторов на земную поверхность, включая расположенные на ней потенциально опасные объекты. На основе их анализа определяется место астероидно-кометной опасности в системе классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

*Ключевые слова:* астероидно-кометная опасность, космическая угроза, опасное небесное тело, поражающие факторы, риск, потенциально опасный объект, система классификации чрезвычайных ситуаций

**Для цитирования:** Савельев М.И. Астероидно-кометная опасность в системе классификации чрезвычайных ситуаций МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 40–48.

Scientific article

## **ASTEROID-COMET DANGER IN THE EMERGENCY CLASSIFICATION SYSTEM OF EMERCOM OF RUSSIA**

✉ Savelev Mikhail I.

**All-Russian research institute for civil defense and emergency situations of EMERCOM of Russia (Federal center of science and high technologies), Moscow, Russia**

✉ [savelev-22@mail.ru](mailto:savelev-22@mail.ru)

*Abstract.* The article discusses the issues of substantiating the place of asteroid-comet danger as a risk factor in the classification system of emergencies of EMERCOM of Russia. From the standpoint of the genesis of the asteroid-comet hazard and the consequences of its manifestation, a characteristic of the impact of its primary and secondary damaging factors on the Earth's surface, including potentially dangerous objects located on it, is given. Based on their analysis, the place of asteroid-comet danger in the classification system of natural and man-made emergencies is determined.

*Keywords:* asteroid-comet danger, space threat, dangerous celestial body, damaging factors, risks, potentially dangerous object, emergency classification system

**For citation:** Savelev M.I. Asteroid-comet danger in the emergency classification system of EMERCOM of Russia // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 40–48.

## Введение

Астероиды и кометы относятся к малым телам Солнечной системы. С течением времени от образования планеты Земля и до настоящего времени их столкновение с земной поверхностью стало регулярным. Чаще всего из-за малых размеров астероиды мы не замечаем и не регистрируем. Более редки случаи с крупными телами, относящимися к классу опасных небесных тел (ОНТ). Последствиями воздействия ОНТ на земную поверхность являются кратеры, возникшие при падении, например, Тунгусского (30 июня 1908 г.), Сихотэ-Алинского (13 февраля 1947 г.) и Челябинского (15 февраля 2013 г.) метеоритов.

Спустя десятилетие после Челябинского события проблема астероидно-кометной опасности (АКО) не снизила своей остроты и стала предметом и объектом пристального внимания мирового научного сообщества. Согласно приказу МЧС России от 5 июля 2021 г. № 429 «Об установлении критериев информации о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера» АКО впервые получила юридическое признание в российском законодательстве в качестве чрезвычайной ситуации (ЧС). Приказ зарегистрирован в Минюсте и вступил в силу с 1 января 2022 г.

В решении данной проблемы особое место занимает рассмотрение последствий проявления АКО в системе классификации ЧС.

## Генезис АКО

По своему генезису околоземные астероиды и кометы являются космическими объектами природного происхождения и одновременно источниками АКО. Они различаются по своему составу. Большая часть популяции астероидов содержат каменные (углеродистые хондриты или силикаты без углеродных соединений) породы, а меньшая – никель, железо и другие металлы. В то же время кометы состоят из твердого, подобно астероидам, ядра и заледевших воды и газов.

Кометы при движении по орбите вблизи Солнца под воздействием солнечного тепла оставляют след в виде хвоста от испарений льда и летучих газов. Как правило, вдалеке от Солнца кометы теряют свою способность формировать газовый хвост. Так же во Вселенной существует популяция комет, которые, потеряв большую часть своих летучих веществ, выглядят как астероиды. Их относят к классу потухших комет.

Согласно размерам распределение малых тел (астероидов, метеоритных тел и комет) в околосолнечном пространстве может быть описано степенным законом вида [1]:

$$N = kD^b,$$

где  $N$  – общее число малых небесных тел с диаметрами, большими  $D$ ;  $k$  – некоторая постоянная пропорциональности, позволяющая масштабировать значение функции.

$$b = \begin{cases} -2.6 & \text{для } 0.01 < D \leq 0.25 \text{ км,} \\ -2.0 & \text{для } 0.25 < D \leq 2.5 \text{ км,} \\ -4.3 & \text{для } D > 2.5 \text{ км.} \end{cases}$$

Показатель степени  $b$  меняется от популяции к популяции и может принимать различные значения в зависимости от размеров  $D$  небесных тел. Степенное распределение тел по размерам иллюстрирует тот факт, что астероиды, кометы, метеориты являются, как правило, продуктами дробления. В то же время данный показатель распределения позволяет прогнозировать количество малых небесных тел и увеличение их числа, но с меньшими размерами за счет дробления в конкретной популяции тел.

Важно отметить, что источниками околоземных астероидов является Главный пояс астероидов, а комет – Пояс Койпера и Облако Оорта. Главный пояс астероидов находится

между орбитами Марса и Юпитера. Пояс Койпера лежит за пределами орбиты Нептуна на удалении до 120 а.е. от Солнца, а Облако Оорта находится на удалении светового года.

Околоземные астероиды образуют условную группу АААА – околоземных астероидов (Атиры, Атоны, Аполлоны и Амуры). Орбиты астероидов данной группы пересекают земную орбиту с периодом примерно в один год. В отношении определения потенциально опасных небесных тел руководствуются математическим соотношением для радиуса вектора их орбит [2]:

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 \pm e \cos w} \approx 1 \text{ а.е.},$$

где  $a$  – большая полуось;  $e$  – эксцентриситет;  $w$  – аргумент перигелия орбиты небесного объекта. Знак «+» соответствует восходящему, а знак «–» – нисходящему узлам орбиты в случае соответственно прямого (угол наклона орбиты к эклиптике  $i$  меняется от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ ) и обратного (угол наклона  $i$  в пределах от  $90^\circ$  до  $180^\circ$ ) движения небесного тела.

Кроме того, среди околоземных астероидов отдельно выделяют потенциально опасные для Земли астероиды. Они сближаются с Землей на расстояние менее 0,05 а.е. и несут реальную угрозу столкновения с нашей планетой.

В свою очередь, кометы из-за удаленности Пояса Койпера и Облака Оорта не представляют реальной угрозы для земной цивилизации. Однако среди некоторых ученых обсуждается гипотеза о кометном происхождении Тунгусского события, что подтверждает необходимость проведения исследований короткопериодических с периодом не менее ста лет комет Пояса Койпера и долгопериодических с периодом более двести лет комет Облака Оорта.

### Поражающие факторы и риски АКО

При вторжении в атмосферу небесные тела в зависимости от размеров полностью сгорают или взрываются от теплового нагрева, и малая доля долетает до поверхности Земли. Однако возникновение таких событий для земной жизни могут иметь реальные последствия (таблица) [3].

Таблица

**Характеристика последствий вторжения ОНТ**

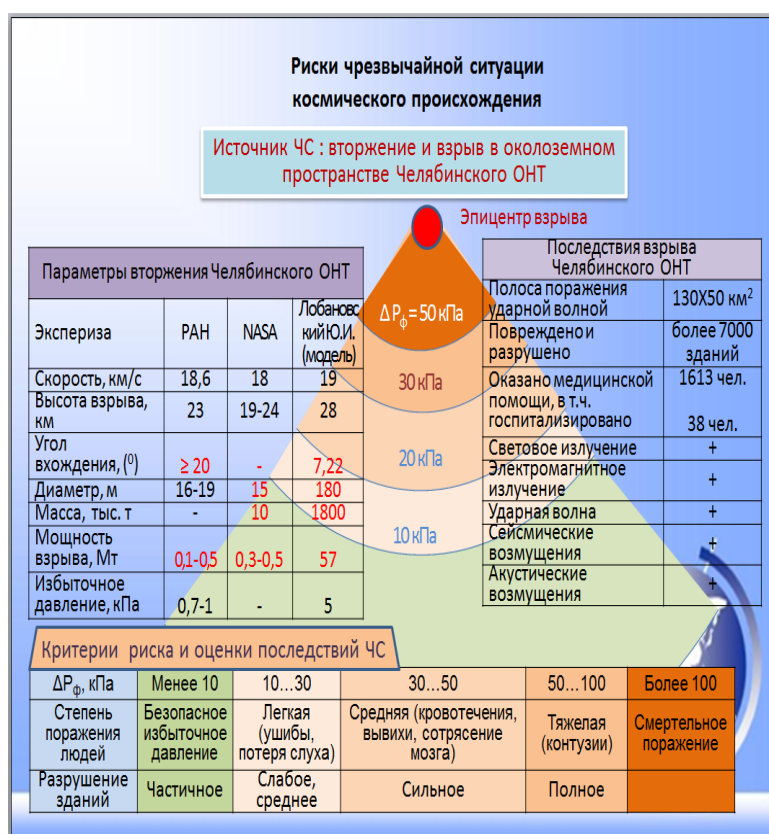
Объект	Размеры, D	Частота (раз/лет)	Размер кратера, км	Последствия встречи ОНТ с Землей
Пылинка, Микрометеороид	$D \leq 0.1 \text{ см}$	Практически непрерывно	Нет	Сгорает в атмосфере (метеор) или выпадает на поверхность
Метеороид, Астероид, Комета	$0.1 \text{ см} < D \leq 1 \text{ м}$	каждые ~15 дней (для 0.1 м)	Нет	Сгорает в атмосфере (болид)
	$1 \text{ м} < D < 30 \text{ м}$	~1 (для 5 м)	Нет	Болид. Сгорают, либо остатки долетают до Земли (метеорит)
	30 м	~250	Нет > 0.5	Тунгусское событие (воздушный взрыв) Аризонский кратер (поверхностный взрыв) Локальная катастрофа
Астероид или Комета	100 м	~3 тыс.	>2	Региональная катастрофа
	>1 км	>1 млн. лет	>20	Глобальная катастрофа
	>10 км	100 млн. лет	>200	Конец цивилизации

Отмечаются два типа последствий вторжения ОНТ: воздушный взрыв астероидов в атмосфере Земли и ударно-кинетическое столкновение метеорита с земной или водной поверхностью. Взрыв небесного тела (астероида) в атмосфере, ставший общепотребительным термином, под которым подразумевается, что небесное тело при взаимодействии с атмосферой Земли разрушается, плавится, испаряется и выделяет большую часть своей кинетической энергии в виде тепловой энергии на некоторой высоте от поверхности Земли.

Мощность взрыва астероида в тротиловом эквиваленте (ТНТ) можно определить по эмпирической формуле через энергию  $E_o$  высвета [4]:

$$q = 8,2508 E_o^{0,885} \quad (1)$$

Обычно данное выражение справедливо применительно к достаточно крупным телам, кинетическая энергия которых сравнима с энергией воздушных взрывов, порядка 1 кт тротилового эквивалента и более. Так, вторжение метеорита в околоземное пространство над территорией Челябинской обл. сопровождалось поражающими факторами, параметры и риски которых отражены на рис. 1 [5–7].



**Рис. 1. Характеристика поражающих факторов Челябинского события  
15 февраля 2013 г.**

Из приведенных на рис. 1 оценочных данных Челябинского события 15 февраля 2013 г. очевидно, что ударная волна является основным поражающим фактором и зависит от мощности воздушного взрыва ОНТ, значение которого определяется по эмпирической формуле через энергию высвета согласно выражению (1). Разночтения экспертов Российской академии наук, NASA и модельного эксперимента Ю.И. Лобановского (выделено красным цветом) по мощности взрыва и другим параметрам ОНТ подчеркивает проблематичность выработки стратегии противодействия АКО.

Однако приведенные экспертные оценки Челябинского события не противоречат реальным последствиям АКО в зоне ЧС, которая была отнесена к ЧС федерального уровня. Полоса поражения от ударной волны составила свыше 130 км в длину и более 50 км в ширину. Было зафиксировано повреждение или разрушение более 7 000 зданий. За медицинской помощью обратилось более 1 613 чел., госпитализировано 38 чел. [5].

Характеристика по степени воздействия ударной волны для населения и сооружений приведены в таблице критериев риска и оценки последствий ЧС (рис. 1), вызванной АКО. В результате население и территории могут оказаться в зонах приемлемого или неприемлемого риска.

### **Место АКО в системе классификации ЧС**

АКО относится к космическим угрозам. В статье под космической угрозой понимается потенциально возможное событие, действие (воздействие), процесс или явление космического происхождения, которое может привести к нанесению ущерба населению и территории. Источником космических угроз являются космический мусор, АКО, космическая погода, биологические и астрофизические угрозы.

В отличие от вышеуказанных угроз, АКО характеризуется внезапностью проявления своих поражающих факторов, что приводит к повышенному риску для населения и территорий. Так, при входе небесного тела, подобного Челябинскому, в атмосферу Земли возникает воздушный взрыв, сопровождающийся также ударной волной, тепловым излучением и пожарами, электромагнитными возмущениями, инфразвуком и сейсмическими эффектами.

В зависимости от поверхности, на которую приходится удар, возможна реализация различных поражающих факторов. При ударе о землю происходит образование кратера и изменение рельефа, возникают сейсмические эффекты. Контактное соударение с поверхностью Земли вызывает ударную волну в атмосфере, электромагнитные возмущения и акустико-гравитационные волны, а так же химические реакции в воздушном пространстве. Вследствие теплового излучения происходят пожары и тепловое поражение людей. Столкновение метеорита с сушей провоцирует выброс плюма и пыли, а с водной поверхностью – выброс воды и образование цунами [8].

Вышеуказанные процессы могут оказать различные виды негативных воздействий на окружающую среду, такие как: механическое, физическое, химическое и смешанное воздействия. В результате создаются угрозы и риски для безопасности, благоприятности, комфортности жизнедеятельности населения, описанные в работе [9].

Подобная ситуация наблюдалась при столкновении с земной поверхностью тунгусского метеорита с нанесением масштабного экологического вреда литосфере, гидросфере, флоре, животному миру.

Анализ последствий поражающих факторов Челябинского события выявил возможное проявление первичных и вторичных поражающих факторов воздушного взрыва ОНТ (рис. 2) [10].

Первичные поражающие факторы являются факторами прямого, а вторичные – факторами сопутствующего действия. Проявление вторичных факторов происходит вследствие воздействия первичных факторов на потенциально опасные объекты. К первичным факторам относятся преимущественно воздушная ударная волна, а к вторичным – радиационное и химическое заражение (загрязнение) местности, которое становится реальным событием при разрушении ударной волной соответствующих радиационных и химических опасных объектов. В случае воздействия метеорита на гидротехнические сооружения не исключается затопление территорий.





Рис. 2. Последствия от поражающих факторов АКО

АКО как источник ЧС с учетом ее первичных и вторичных поражающих факторов в совокупности с комическими угрозами, органично вписывается в систему классификации ЧС, принятой в МЧС России [11]. На рис. 3 проявление АКО выделено светло-оранжевым цветом.

Предложенная классификация включает наряду с АКО астрофизические и биологические угрозы, а также космическую погоду и космический мусор. В совокупности проявления данных угроз они рассматриваются в качестве источников ЧС космического происхождения. Исследование последствий этих угроз требует отдельного научного осмысления, что выходит за рамки настоящей статьи.

В зависимости от размеров, массы и мест падения ОНТ на Землю, масштабы последствий можно разделить по площади поражения на локальные, региональные, федеральные и глобальные последствия. Воздействие опасных небесных тел на гидротехнические сооружения, радиационные, химические и биологические потенциально опасные объекты определяют параметры проявления АКО, подлежащие описанию в системе классификации ЧС МЧС России.

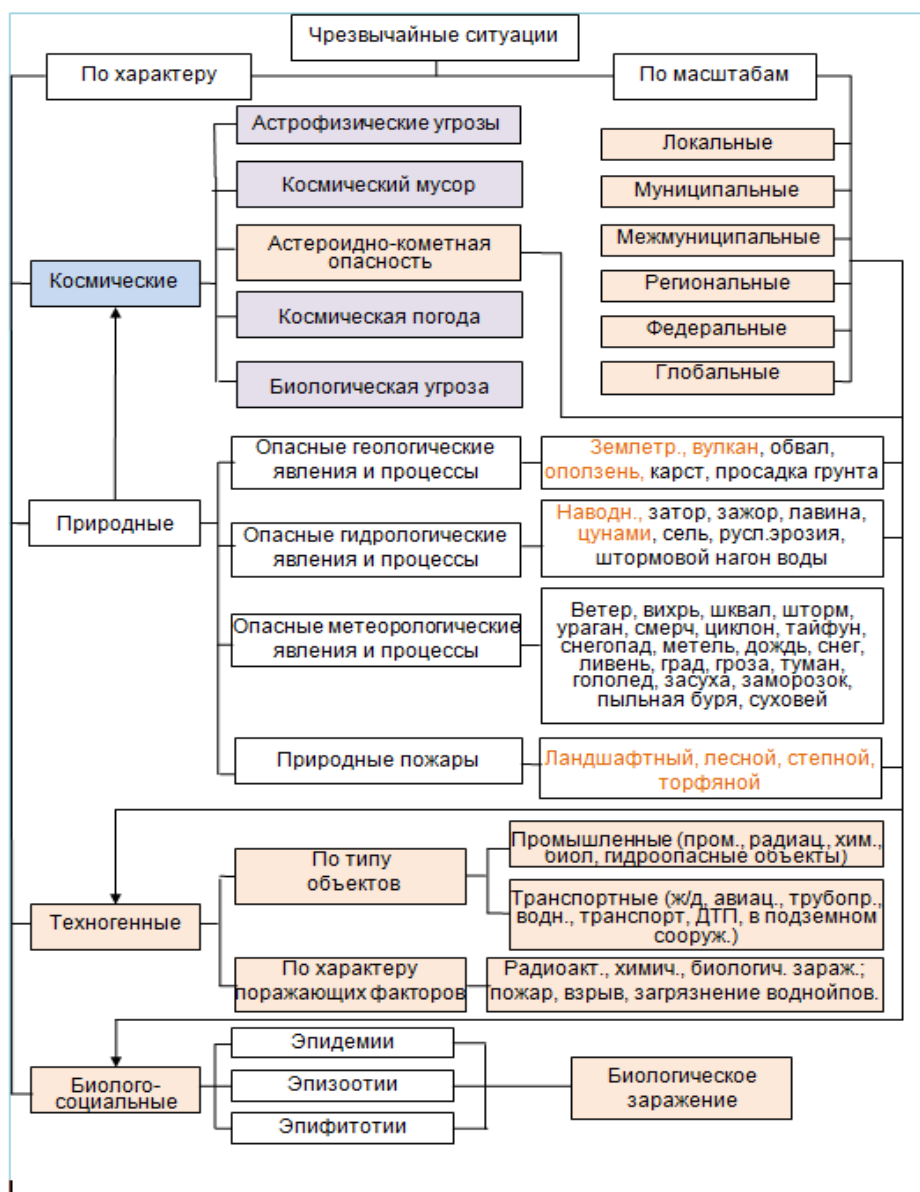


Рис. 3. АКО в системе классификация ЧС

### Заключение

Важно отметить и другую особенность АКО. Не исключается одновременное проявление всей совокупности первичных и вторичных поражающих факторов. В таком случае АКО следует рассматривать в качестве источника ЧС природно-техногенного характера.

В результате АКО по своему характеру, масштабу и последствиям органично дополняет угрозы и опасности, принятые в системе классификации ЧС МЧС России.

Включение АКО в систему классификации ЧС позволяет органам повседневного управления МЧС России определиться с мерами, направленными на смягчение и ликвидацию последствий от воздействия поражающих факторов АКО. В зависимости от масштабов последствий не исключается привлечение в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС значительного количества людей и материальных ресурсов других министерств и ведомств для проведения аварийно-спасательных работ по ликвидации последствий возможных столкновений ОНТ с Землей.

Предложенная классификация чрезвычайных ситуаций с учетом АКО предполагает необходимость предпринять комплекс мер по защите населения и территорий по всему спектру последствий, вызванных АКО.

### Список источников

1. Астероидно-кометная опасность / Ю.Д. Медведев [и др.]; под ред. А.Г. Сокольского. СПб.: ИТА, МИПАО, 1996. 244 с.
2. Рой А. Движение по орбитам. М.: Мир, 1981. 544 с.
3. Шустов Б.М. Космические угрозы и задачи современной науки: доклад на заседании Президиума РАН // Вестник российской академии наук. 2019. Т. 89. № 8. С. 777–792.
4. Фортон В.Е., Султанов В.Г., Шутов А.В. Взрыв Челябинского суперболида в атмосфере Земли: рядовое событие или уникальное стечение обстоятельств? // Геохимия. 2013. № 7. С. 609–628.
5. Отчет об анализе чрезвычайной ситуации, сложившейся в результате выпадения метеоритного дождя на территории Челябинской области 15 февраля 2013 года. Челябинск: Главное управление МЧС России по Челябинской обл., 2013.
6. Савельев М.И. Проблемы создания Российского сегмента мониторинга и прогноза астероидно-кометной опасности // Опыт ликвидации крупномасштабных чрезвычайных ситуаций в России и за рубежом: XIX Междунар. науч.-практ. конф. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2014.
7. Лобановский Ю.И. Уточненные параметры Челябинского и Тунгусского метеороидов и характеристики их взрывов. URL: <http://www.synerjetics.ru/article/objects.pdf> (дата обращения: 28.11.2022).
8. Разработка информационно-аналитической системы мониторинга опасных небесных тел и планирования противодействия астероидно-кометной опасности: отчет о НИР № 312/1020–019 от 08.12.2014 / В.П. Кулагин [и др.] // МЧС России. 2014. 376 с.
9. Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex // Materials science forum. 2019. Т. 945. Р. 988–994.
10. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ и обеспечение защищенности от чрезвычайных ситуаций / В.А. Акимов [и др.]; науч. рук.-ль член-корреспондент РАН Н.А. Махутов. М.: МГОФ «Знание», 2021. 500 с.
11. Астероидно-кометная опасность: стратегия противодействия / В.А. Акимов [и др.]; под общ. ред. В.А. Пучкова. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. 272 с.

### References

1. Asteroidno-kometnaya opasnost' / Yu.D. Medvedev [i dr.]; pod red. A.G. Sokol'skogo // SPb.: ITA, MIPAO, 1996. 244 s.
2. Roj A. Dvizhenie po orbitam. M.: Mir, 1981. 544 s.
3. Shustov B.M. Kosmicheskie ugrozy i zadachi sovremennoj nauki: doklad na zasedanii Prezidiuma RAN // Vestnik rossijskoj akademii nauk. 2019. T. 89. № 8. S. 777–792.
4. Fortov V.E., Sultanov V.G., Shutov A.V. Vzryv Chelyabinskogo superbolida v atmosfere Zemli: ryadovoe sobytie ili unikal'noe stechenie obstoyatel'stv? // Geohimiya. 2013. № 7. S. 609–628.
5. Otchet ob analize chrezvychajnoj situacii, slozhivshejsya v rezul'tate vypadeniya meteoritnogo dozhdya na territorii Chelyabinskoj oblasti 15 fevralya 2013 goda. Chelyabinsk: Glavnoe upravlenie MCHS Rossii po Chelyabinskoj obl., 2013.
6. Savel'ev M.I. Problemy sozdaniya Rossijskogo segmenta monitoringa i prognoza asteroidno-kometnoj opasnosti // Opyt likvidacii krupnomasshtabnyh chrezvychajnyh situacij v Rossii i za rubezhom: XIX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M.: FGBU VNII GOCHS (FC), 2014.

7. Lobanovskij Yu.I. Utochnennye parametry Chelyabinskogo i Tungusskogo meteoroidov i harakteristiki ih vzryvov. URL: <http://www.synerjetics.ru/article/objects.pdf> (data obrashcheniya: 28.11.2022).
8. Razrabotka informacionno-analiticheskoy sistemy monitoringa opasnyh nebesnyh tel i planirovaniya protivodejstviya asteroidno-kometnoj opasnosti: otchet o NIR № 312/1020–019 ot 08.12.2014 / V.P. Kulagin [i dr.] // MCHS Rossii. 2014. 376 s.
9. Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex // Materials science forum. 2019. T. 945. P. 988–994.
10. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, social'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty. Analiz i obespechenie zashchishchennosti ot chrezvychajnyh situacij / V.A. Akimov [i dr.]; nauch. ruk-l' chlen-korrespondent RAN N.A. Mahutov. M.: MGOF «Znanie», 2021. 500 s.
11. Asteroidno-kometnaya opasnost': strategiya protivodejstviya / V.A. Akimov [i dr.]; pod obshch. red. V.A. Puchkova. M.: FGBU VNII GOCHS (FC), 2015. 272 s.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 16.03.2023; одобрена после рецензирования: 24.05.2023; принята к публикации: 26.05.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 16.03.2023; approved after review: 24.05.2023; accepted for publication: 26.05.2023

*Информация об авторе:*

**Савельев Михаил Иванович**, ведущий научный сотрудник федерального центра науки и высоких технологий Всероссийского научно-исследовательского института по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (121352, Москва, Давыдовская ул., д. 7), кандидат технических наук, e-mail: savelev-22@mail.ru

*Information about the author:*

**Savelev Mikhail I.**, leading researcher at the federal center for science and high technologies of the All-Russian research institute for civil defense and emergency situations of EMERCOM of Russia (121352, Moscow, Davydovskaya str., 7), candidate of technical sciences, e-mail: savelev-22@mail.ru

Научная статья

УДК 614.839

## **МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСТЕКЛЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ ВЗРЫВА**

**Рыбаков Анатолий Валерьевич;**

✉ **Очетов Серафим Леонтьевич;**

**Рыбакова Анастасия Михайловна.**

**Академия гражданской защиты МЧС России, Москва, Россия**

✉ [s.ochetov@amchs.ru](mailto:s.ochetov@amchs.ru)

*Аннотация.* Изложена методика обоснования рациональных параметров остекления оконных проемов для защиты населения от поражающих факторов взрыва при чрезвычайной ситуации техногенного характера. На основе известных пороговых значений степени поражения человека осколками стекла определяется показатель защищенности населения, который является целевой функцией для обоснования мероприятий по повышению защиты населения. С учетом финансовых ограничений на проведение мероприятий по предупреждению и снижению последствий ЧС техногенного характера предлагается решение оптимизационной задачи по обоснованию мероприятий повышения показателя защищенности населения.

*Ключевые слова:* чрезвычайная ситуация, взрыв, поражающий фактор, воздушная ударная волна, защита населения, остекление оконных проемов

**Для цитирования:** Рыбаков А.В., Очетов С.Л., Рыбакова А.М. Методика обоснования рациональных параметров остекления для защиты населения от поражающих факторов взрыва // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 49–56.

Scientific article

## **METHODOLOGY FOR SUBSTANTIATING RATIONAL GLAZING PARAMETERS FOR PROTECTING THE POPULATION FROM DAMAGING EXPLOSION FACTORS**

**Rybakov Anatoly V.;**

✉ **Ochetov Serafim L.;**

**Rybakova Anastasia M.**

**Civil defence academy of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia**

✉ [s.ochetov@amchs.ru](mailto:s.ochetov@amchs.ru)

*Abstract.* The article sets forth a methodology for justifying rational glazing parameters of window openings to protect the population from damaging explosion factors in a man-made emergency. Based on the known threshold values of the degree of human damage by glass fragments, an indicator of population protection is determined, which is a target function for justifying measures to increase population protection. Taking into account financial restrictions on measures to prevent and reduce the consequences of man-made emergencies, it is proposed to solve the optimization task for justifying measures to increase the population protection indicator.

*Keywords:* emergency, explosion, damaging factor, air shock wave, population protection, glazing of windows

**For citation:** Rybakov A.V., Ochetov S.L., Rybakova A.M. Methodology for substantiating rational glazing parameters for protecting the population from damaging explosion factors // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 49–56.

## Введение

При чрезвычайной ситуации (ЧС) техногенного характера в результате взрыва большой мощности зона поражения может выйти далеко за пределы территории потенциально опасного объекта (ПОО) и жилые здания, находящиеся вблизи этих ПОО, могут получить различную степень повреждения от воздействия давления во фронте воздушной ударной волны. Наиболее уязвимым элементом жилого здания является остекление. В своде правил [1] указывается, что при взрыве происходит разрушение элементов зданий, и на людей, находящихся внутри помещения, происходит воздействие поражающих факторов строительных конструкций, таких как: осколки оконных стекол, дверей, перекрытий. Поэтому необходимо заблаговременно проводить оценку опасности и уязвимости жилых домов, расположенных рядом с ПОО, и разрабатывать мероприятия по защите населения от опасностей при возникновении ЧС техногенного характера.

Анализ инцидентов и аварий, произошедших в результате взрыва на ПОО [2–5], указывает, что при прогнозировании последствий техногенных ЧС необходимо учитывать возможное поражения людей осколками стекла. Так, например, в работе [6] сказано о том, что при разрушении остекления в результате взрыва, осколки стекла приводят к механическим повреждениям мягких тканей людей. В статье [7] авторами рассматривается подход, заключающийся в необходимости заблаговременного проведения мероприятий по обоснованию рациональных параметров остекления в оконных проемах жилых зданий для защиты населения от вторичных поражающих факторов взрыва.

## Методы исследования

В статье предлагается методика обоснования рациональных параметров остекления для защиты населения от поражающих факторов взрыва при ЧС техногенного характера на ПОО, в соответствии с научной задачей, сформулированной в статье [8]. Общая структурно-функциональная схема разработанного научно-методического аппарата методики обоснования рациональных параметров остекления показана на рис. 1.



Рис. 1. Схема научно-методического аппарата методики определения обоснования рациональных параметров остекления для защиты населения от поражающих факторов взрыва при ЧС техногенного характера на ПОО

Исходными данными для проведения расчетов будут являться:

- расстояние от ПОО до жилых зданий;
- количество и свойства опасного вещества, используемого на ПОО;
- характеристика остекления оконных проемов в жилых зданиях.

Давление во фронте воздушной ударной волны (ВУВ) способно разрушать остекление жилых зданий на большом расстоянии от эпицентра взрыва, причиняя населению осколочные ранения разной степени тяжести. Предполагается, что в результате взрыва на ПОО происходит воздействие давления во фронте ВУВ на оконный проем прямоугольной формы в жилом здании.

В руководящих документах [9, 10] указывается, что разрушение зданий и остекления происходит при следующих значениях давления во фронте ВУВ (табл. 1, 2).

Таблица 1

#### Степень разрушения зданий

Характеристика повреждения здания	Избыточное давление, $\Delta P$ , кПа
Средние повреждения, возможно восстановление здания	28
Разрушение оконных проемов, легкобрасываемых конструкций	14
Частичное разрушение остекления	< 2

Таблица 2

#### Степень разрушения остекления

Характеристика повреждения остекления	$\Delta P$ , кПа
Полное разрушение остекления	7
50 % разрушение остекления	2,5

Соответственно в работе рассматриваются только те жилые здания, которые в результате взрыва на ПОО могут попасть в зону давления во фронте ВУВ от 2 до 27 кПа. Для определения показателя защищенности населения необходимо знать массу и скорость каждого  $i$ -го осколка стекла. Распределение осколков стекла по массе используется из экспериментальных исследований [11], и представлены на рис. 2.

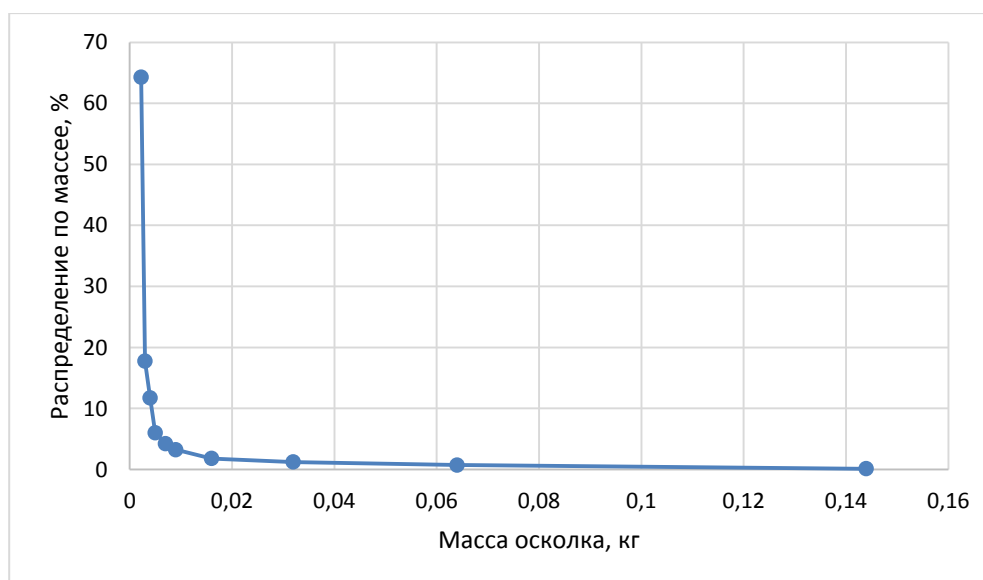


Рис. 2. Распределение осколков стекла по массе



Начальная скорость осколков стекла определяется по формуле, представленной в статье [12]:

$$v_0 = \frac{1}{\rho h} \sqrt{i^2 + (2\xi \Delta P_f - f_d \varepsilon_d) \rho h^2}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность стекла, кг/м<sup>3</sup>;  $h$  – толщина стекла, м;  $\Delta P_f$  – давление во фронте воздушной ударной волны, Па;  $i$  – импульс, Па·с;  $\xi$  – поправочный коэффициент, полученный экспериментальным путем [12].

$$f_d \varepsilon_d = \frac{2.109 \times f_{60}^2 \cdot \bar{R}^{-0.03265}}{E},$$

где  $f_{60}$  – прочность на растяжение, Па;  $E$  – модуль Юнга (модуль упругости), Па;  $\bar{R}$  – приведенное расстояние от места взрыва.

Для определения показателя защищенности населения рассматриваются только осколки массой более 1 г, так как они представляют из себя угрозу для жизни человека. Затем, зная массу и скорость  $i$ -го осколка, определяется показатель защищенности населения. Аналитическая зависимость представлена в статье [13] и имеет вид:

$$k_{\text{защ}} = 1 - \max P(m_i, v_i),$$

где  $P$  – вероятность поражения человека осколком стекла;  $m$  – масса;  $v$  – скорость.

### Результаты исследования и их обсуждение

Функция вероятности поражения человека получена на основе ранее известных пороговых значений степени поражения человека осколками стекла [14–17]. Уравнения пороговых значений вероятности поражения человека (для разных масс) получены на основе анализа аналитических зависимостей и эмпирических данных для определения степени поражения человека.

Вероятность поражения человека осколком стекла определённой массы и скорости  $P(m, v)$  будет принимать значение от 0 до 1 и определяться как среднее расстояние между пороговыми значениями вероятностей поражения по оси ОУ как кратчайшая прямая между двумя точками, обозначается как  $d(y_1, y_2)$  и определяется по формуле:

$$d(y_1, y_2) = \sqrt[2]{(y_1 - y_2)^2}.$$

Вероятность поражения человека определяется по формуле и визуальна представлена на рис. 3.

$$P(m, v) = \begin{cases} 0, & v \leq v_0(m) \\ \frac{L \cdot d(v, v_U(m)) + U \cdot d(v, v_L(m))}{d(v, v_U(m)) + d(v, v_L(m))}, & \text{где } L = \operatorname{argmin}_j d(v, v_j(m)), v_j(m) \leq v \\ 1, & v \leq v_1(m) \end{cases} \quad \begin{cases} U = \operatorname{argmin}_j d(v, v_j(m)), v_j(m) \geq v \\ v_j(m) \in V_{\text{порог}} \end{cases}.$$

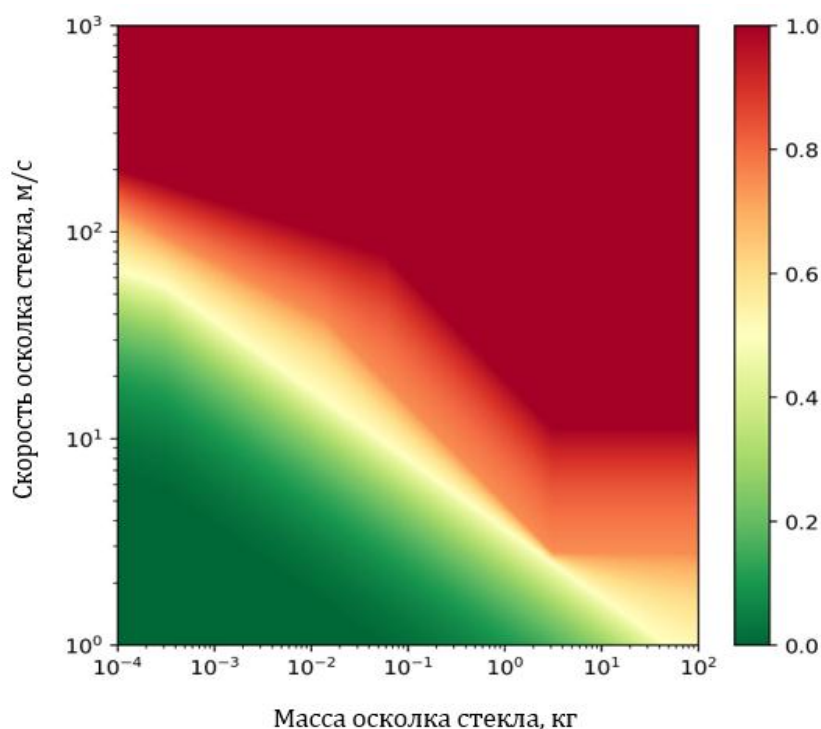


Рис. 3. Значения вероятности поражения человека осколками стекла

Степени поражения человека осколком стекла в зависимости от вероятности поражения представлены в табл. 3.

Таблица 3

Степень поражения человека

Зона	Степень поражения
$0 \leq P < 0,5$	Легкое ранение
$0,5 \leq P < 0,75$	Среднее ранение
$0,75 \leq P < 1$	Тяжелое ранение
$P = 1$	Летальный исход

Для снижения степени поражения человека необходимо провести мероприятия по снижению начальной скорости осколка стекла, которая определяется по формуле 1. Снижение начальной скорости осколка стекла возможно за счет проведения следующих мероприятий: изменение характеристик стекла (увеличение толщины стекла ( $Z_1$ ) и изменение прочности стекла на растяжение ( $Z_2$ ) и недопущение разрушения стекла (установка взрывостойкого стекла ( $Z_3$ ) или наклеивание на поверхность стекла специальной полимерной пленки ( $Z_4$ )).

Для каждого из этих мероприятий необходимо определить стоимость изменения характеристик стекла в оконных проемах ( $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$ ) в расчете на 1 м<sup>2</sup>. Затем провести оценку имеющихся ресурсов, выделенных на проведение мероприятий по предупреждению и снижению последствий ЧС техногенного характера (формирование системы ограничений).

После этого известными методами решается оптимизационная задача по определению рациональных параметров остекления для защиты населения от вторичных поражающих факторов взрыва при ЧС техногенного характера на ПОО.

$$v_0 = f(Z) \rightarrow \min_Z \quad .$$

$$\begin{cases} 1 \leq Z_1 \leq 25 \text{ (мм)} \\ 30 \leq Z_2 \leq 125 \text{ (МПа)} \\ C_1 \cdot Z_1 + C_2 \cdot Z_2 \leq C^* \end{cases} .$$

### Заключение

Решение данной оптимизационной задачи позволит получить такие параметры стекла, при которых начальная скорость осколков стекла будет минимальной, тем самым снижается степень поражения человека, и повышается показатель защищенности населения. Поэтому органы управления, специально уполномоченные на решение задач в области защиты населения и территорий от ЧС, смогут заблаговременно планировать и проводить комплекс мероприятий по повышению уровня защищенности населения.

Таким образом, решение данной научной задачи и последующая обоснованная реализация ее результатов на практике позволит увеличить уровень защиты населения от вторичных поражающих факторов взрывов при возникновении ЧС техногенного характера, используя рациональные параметры остекления оконных проемов.

### Список источников

1. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/555600219> (дата обращения: 17.02.2023).
2. Дзержинск восстанавливается после взрывов // Коммерсант: последние новости России и мира. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3990686#id1755007> (дата обращения: 09.02.2023).
3. Взрыв под Петербургом не только уничтожил завод «Авангард», но и разрушил дома поблизости. URL: <https://paperpaper.ru/photos/vzryv-pod-peterburgom-ne-tolko-unicht/> (дата обращения: 02.02.2023).
4. В Рязанской области взрыв на пороховом заводе унес жизни 17 человек // Российская газета. URL: <https://rg.ru/2021/10/25/reg-cfo/v-riazanskoj-oblasti-vzryv-na-porohovom-zavode-unes-zhizni-17-chelovek.html> (дата обращения: 15.02.2022).
5. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 году. URL: [https://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/) (дата обращения: 03.07.2022).
6. Ботяков А.Г. Особенности поражения людей при взрыве большой мощности в городе: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Н. Новгород, 1992. 20 с.
7. Рыбаков А.В., Очетов С.Л. Об оценке воздействия вторичных поражающих факторов взрыва на население при чрезвычайных ситуациях техногенного характера // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2022. № 1 (52). С. 43–49.
8. Формализованная постановка задачи обоснования рациональных параметров остекления оконных проемов для защиты населения от поражающих факторов взрыва при чрезвычайной ситуации техногенного характера / А.В. Рыбаков [и др.] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2022. № 3 (54). С. 71–79.
9. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей: руководство по безопасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200133802> (дата обращения: 21.06.2021).

10. Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах: руководство по безопасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420347908> (дата обращения: 09.02.2023).
11. Zhang X., Hao H., Wang Z. Experimental investigation on monolithic tempered glass window responses to blast loads // *International journal of protective structures*. 2015. Vol. 6. № 2. P. 287–309.
12. Ge J., G.-Q. Li, S.-W. Chen theoretical and experimental investigation on fragment behavior of architectural glass panel under blast loading // *Engineering failure analysis*. 2012. Vol. 26. P. 293–303.
13. Рыбаков А.В., Очетов С.Л., Федоровичев Д.С. О показателе защиты населения от вторичных поражающих факторов взрыва при чрезвычайных ситуациях техногенного характера // *Безопасность труда в промышленности*. 2022. № 10. С. 39–45.
14. Zhang X.H. Development of design and analysis methods for window structures against blast and impact loads: Doctoral thesis. 2015.
15. Glasstone S. Dolan Philip J. The effects of nuclear weapons – U.S. Department of defense and U.S. Department of energy, 1957. Third edition, 1977. 638 с.
16. Взрывные явления. Оценка и последствия: в 2-х кн.: пер. с англ. У. Бейкер [и др.]; под ред. Я.Б. Зельдовича, Б.Е. Гельфанда. М.: Мир, 1986. Кн. 2. 384 с.
17. Defense technical information center. DTIC ADA105824: Glass fragment hazard from windows broken by airblast. DTIC ADA105824 // Defense technical information center. 1980. 40 с.

## References

1. SP 296.1325800.2017. Zdaniya i sooruzheniya. Osobyje vozdejstviya. URL: <https://docs.cntd.ru/document/555600219> (data obrashcheniya: 17.02.2023).
2. Dzerzhinsk vosstanavlivaetsya posle vzryvov // *Kommersant: poslednie novosti Rossii i mira*. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3990686#id1755007> (data obrashcheniya: 09.02.2023).
3. Vzryv pod Peterburgom ne tol'ko unichtozhil zavod «Avangard», no i razrushil doma poblizosti. URL: <https://paperpaper.ru/photos/vzryv-pod-peterburgom-ne-tolko-unicht/> (data obrashcheniya: 02.02.2023).
4. V Ryazanskoj oblasti vzryv na porohovom zavode unes zhizni 17 chelovek // *Rossiyskaya gazeta*. URL: <https://rg.ru/2021/10/25/reg-cfo/v-riazanskoj-oblasti-vzryv-na-porohovom-zavode-unes-zhizni-17-chelovek.html> (data obrashcheniya: 15.02.2022).
5. Godovoj otchet o deyatelnosti federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2020 godu. URL: [https://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/) (data obrashcheniya: 03.02.2023).
6. Botyakov A.G. Osobennosti porazheniya lyudej pri vzryve bol'shoj moshchnosti v gorode: avtor. dis. ... kand. med. nauk. N. Novgorod, 1992. 20 s.
7. Rybakov A.V., Ochetov S.L. Ob ocenke vozdejstviya vtorichnyh porazhayushchih faktorov vzryva na naselenie pri chrezvychajnyh situacijah tekhnogenogo haraktera // *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity*. 2022. № 1 (52). S. 43–49.
8. Formalizovannaya postanovka zadachi obosnovaniya racional'nyh parametrov ostekleniya okonnyh proemov dlya zashchity naseleniya ot porazhayushchih faktorov vzryva pri chrezvychajnoj situacii tekhnogenogo haraktera / A.V. Rybakov [i dr.] // *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity*. 2022. № 3 (54). S. 71–79.
9. Metodika ocenki posledstvij avarijnyh vzryvov toplivno-vozdushnyh smesej: rukovodstvo po bezopasnosti. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200133802> (data obrashcheniya: 21.02.2023).
10. Metodicheskie osnovy po provedeniyu analiza opasnostej i ocenki riska avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob"ektah: rukovodstvo po bezopasnosti. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420347908> (data obrashcheniya: 09.06.2021).
11. Zhang X., Hao H., Wang Z. Experimental investigation on monolithic tempered glass window responses to blast loads // *International journal of protective structures*. 2015. Vol. 6. № 2. P. 287–309.

12. Ge J., G.-Q. Li, S.-W. Chen theoretical and experimental investigation on fragment behavior of architectural glass panel under blast loading // *Engineering failure analysis*. 2012. Vol. 26. P. 293–303.
13. Rybakov A.V., Ochetov S.L., Fedorovichev D.S. O pokazatele zashchity naseleniya ot vtorichnyh porazhayushchih faktorov vzryva pri chrezvychajnyh situatsiyah tekhnogenного характера // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2022. № 10. S. 39–45.
14. Zhang X.H. Development of design and analysis methods for window structures against blast and impact loads: Doctoral Thesis. 2015.
15. Glasstone S. Dolan Philip J. The effects of nuclear weapons – U.S. Department of defense and U.S. Department of energy, 1957. Third edition, 1977. 638 s.
16. Vzryvnye yavleniya. Ocenka i posledstviya: v 2-h kn.: per. s angl. U. Bejker [i dr.]; pod red. Ya.B. Zel'dovicha, B.E. Gel'fanda. M.: Mir, 1986. Kn. 2. 384 s.
17. Defense technical information center. DTIC ADA105824: Glass fragment hazard from windows broken by airblast. DTIC ADA105824 // Defense technical information center. 1980. 40 s.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 30.04.2023; одобрена после рецензирования: 13.05.2023; принята к публикации: 15.05.2023

#### **Information about the article:**

The article was submitted to the editorial office: 30.04.2023; approved after review: 13.05.2023; accepted for publication: 15.05.2023

#### *Информация об авторах:*

**Рыбаков Анатолий Валерьевич**, профессор кафедры высшей математики Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Московская обл., г.о. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А), доктор технических наук, профессор, e-mail: anatoll\_rubakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5533-2393>

**Очетов Серафим Леонтьевич**, адъюнкт научно-исследовательского центра Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Московская обл., г.о. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А), e-mail: s.ochetov@amchs.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6968-9992>

**Рыбакова Анастасия Михайловна**, учитель кадетского пожарно-спасательного корпуса Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Московская обл., г.о. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А), e-mail: a.rybakova@amchs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5975-5745>

#### *Information about authors:*

**Rybakov Anatoly V.**, professor of the department of higher mathematics of Civil defence academy of EMERCOM of Russia (141435, Moscow region, Khimki, microdistrict Novogorsk, Sokolovskaya st., p. 1A), doctor of technical sciences, professor, e-mail: anatoll\_rubakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5533-2393>

**Ochetov Serafim L.**, associate professor of the research center of Civil defence academy of EMERCOM of Russia (141435, Moscow region, Khimki, microdistrict Novogorsk, Sokolovskaya st., p. 1A), e-mail: s.ochetov@amchs.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6968-9992>

**Rybakova Anastasia M.**, teacher of the cadet fire and rescue corps Civil defence academy of EMERCOM of Russia (141435, Moscow region, Khimki, microdistrict Novogorsk, Sokolovskaya st., p. 1A), e-mail: a.rybakova@amchs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5975-5745>

Научная статья

УДК 614, 626/627

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДЕЙСТВИЯ КАМУФЛЕТНОГО ВЗРЫВА НА ОБЪЕКТЫ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

✉Седнев Владимир Анатольевич;

Копнышев Сергей Львович;

Сергеенкова Надежда Александровна.

Академия ГПС МЧС России, Москва, Россия

✉sednev70@yandex.ru

*Аннотация.* В условиях глобальной социальной и экономической нестабильности проблема защищенности объектов инфраструктуры от актов незаконного вмешательства выдвигается в число приоритетных задач государства, укрепления его национальной безопасности. При этом наиболее эффективными разрушающими воздействиями на объекты оказываются динамические, связанные с заглубленными взрывными воздействиями.

Цель исследования – решение центрально-симметричной задачи определения граничных условий на газовой сфере, образующейся при камуфлетном взрыве заряда, в предположении о бесколебательном характере движения и несжимаемости среды, а также поля скоростей частиц среды, для оценки воздействия взрывных возмущений на объекты инфраструктуры и обоснования мероприятий по обеспечению устойчивости их функционирования.

*Ключевые слова:* безопасность, гидротехническое сооружение, защищенность, система физической защиты, устойчивость функционирования, управление

**Для цитирования:** Седнев В.А., Копнышев С.Л., Сергеенкова Н.А. Моделирование характеристик воздействия камуфлетного взрыва на объекты инфраструктуры // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 57–71.

Scientific article

## **MODELING OF THE CHARACTERISTICS OF THE IMPACT OF A CAMOUFLAGE EXPLOSION ON INFRASTRUCTURE FACILITIES**

✉Sednev Vladimir A.;

Kopnyshev Sergey L.;

Sergeenkova Nadezhda A.

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

✉sednev70@yandex.ru

*Abstract.* In the context of global social and economic instability, the problems of protecting infrastructure facilities from acts of unlawful interference and strengthening national security are put forward among the priorities of the state. At the same time, the most effective destructive effects on objects are dynamic ones associated with buried explosive effects.

The purpose of the study is to solve the centrally symmetric problem of determining the boundary conditions on a gas sphere formed during a camouflage charge explosion, assuming the vibrationless nature of the movement and incompressibility of the medium, as well as the velocity field of the particles of the medium, to assess the impact of explosive disturbances on infrastructure facilities and justify measures to ensuring the stability of their functioning.

*Keywords:* security, hydraulic engineering structure, security, physical protection system, stability of functioning, management.

**For citation:** Sednev V.A., Kopnyshev S.L., Sergeenkova N.A. Modeling of the characteristics of the impact of a camouflage explosion on infrastructure facilities // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 57–71.

### Введение. Обоснование исходных данных

Для оценки воздействия камуфлетного взрыва на окружающую среду и элементы гидротехнического сооружения необходимо рассмотреть центрально-симметричную задачу о полях скоростей и напряжений в средах, возникающих вследствие камуфлетного взрыва. Исследование предполагает рассмотрение камуфлетного взрыва обычного взрывчатого вещества (ВВ), под которым понимается взрыв, в результате которого до земной поверхности доходят только упругие волны деформации и не происходит образование воронки на земной поверхности.

Предполагается, что детонация заряда ВВ происходит в условиях сферической симметрии и представляет собой процесс, протекающий без изменения объема. Процесс взаимодействия продуктов взрыва с окружающей средой начинается с момента выхода детонационной волны на поверхность заряда.

Так как отраженные волны быстро выравнивают давление в образовавшейся сферической полости, считается, что продукты взрыва внутри этого объема находятся под действием одинакового давления. Механическое действие взрыва моделируется камуфлетным движением. Полезная работа продуктов взрыва совершается в фазе первичного расширения полости. Начально-краевые условия центрально-симметричной задачи определяются из результатов анализа взаимодействия продуктов взрыва с окружающей средой и нулевых значений бытовых давлений.

Отмеченные допущения, наряду с представлениями о кусочно-линейной аппроксимации диаграмм объемного сжатия и сдвига и о несжимаемости среды, позволяют исключить волновые эффекты и решить основное уравнение задачи (камуфлетное уравнение).

В общем виде процесс взаимодействия продуктов камуфлетного взрыва с окружающей средой (ОС) начинается с момента выхода детонационной волны на поверхность заряда, когда газообразными продуктами наносится резкий удар по окружающей среде, в результате которого в среде возникает ударная волна, а по газообразным продуктам к геометрическому центру взрыва следует волна разрежения. Многократно отражаясь от центра полости и ее поверхности, волна разрежения способствует быстрому выравниванию давления в продуктах взрыва. Результатом ударно-волнового взаимодействия будет движение, а также одновременное деформирование и разрушение ОС.

При этом расширяющиеся продукты взрыва образуют вокруг себя зону сильно раздробленного, уплотненного и разогретого вещества, подобного сжимаемой жидкости, а энергия ударных волн необратимо теряется на немеханические формы (нагревание, ионизация, диссоциация, фазовые переходы). Размер этой «ближней» зоны взрыва [1–3] не превышает десяти радиусов заряда ВВ.

На расстояниях до 50 радиусов заряда начинают преобладать уменьшившиеся нагрузки и соответствующее им механическое действие взрыва.

Процессы, происходящие в ударной волне при ее дальнейшем распространении в ОС, определяются, с одной стороны, увеличением поверхности волны и, с другой, – спадом давления при достижении волнами разгрузки фронта ударной волны. Снижение интенсивности ударной волны приводит к вырождению ее в волну сжатия и, в конце концов, в упругую волну. Для расчетов параметров сейсмозрывных волн при их распространении в различных средах применяются как численные, так и аналитические методы [1–15]. Аналитические решения удается получать для простых физических моделей взрыва при кусочно-линейных аппроксимациях диаграммах объемного сжатия и сдвига.



В качестве физической модели процесса принимается модель расширения сферической полости в среде за счет давления продуктов взрыва сферического заряда ВВ, инициируемого в центре, с расширением продуктов взрыва в бесконечность. При описании результатов решений таких моделей, как правило, пользуются приведенным расстоянием  $\tilde{r}$ , под которым понимают отношение расстояния  $r$  от центра заряда ВВ к его определенному характеристическому размеру, например, радиусу сферического заряда ВВ:

$$r_3 \approx 0,053 \cdot \sqrt[3]{C_{\text{эф}}},$$

где  $C_{\text{эф}}$  – приведенная к тротилу масса заряда ВВ в кг.

Подобная форма записи используется и при аппроксимации экспериментальных результатов выражением [1, 3]:

$$P = K \cdot A \left( \frac{r}{\sqrt[3]{C}} \right)^{-n},$$

где  $P$  – максимальное давление во фронте ударной волны;  $A$  и  $n$  – коэффициенты, характеризующие свойства среды;  $K$  – коэффициент влияния глубины заложения заряда ВВ.

Соотношение дает возможность свести взрывы боеприпасов различных калибров к единой оценке.

### **Граничные условия на газовой сфере, образующейся при управлении воздействием камуфлетного взрыва**

Для оценки величины начального давления на камуфлетной газовой сфере и описания процесса ее расширения необходимо знание уравнения состояния продуктов детонации (ПД) ВВ при их адиабатическом расширении в широком диапазоне давлений (до  $\sim 100$  ГПа). В настоящее время предложено большое количество таких уравнений, полученных как с учетом химического состава смесевых компонентов ПД, так и без его учета [1].

При камуфлетном взрыве после выхода детонационной волны на границу заряда ВВ волны разрежения успевают многократно пройти сквозь камуфлетную полость, выравнивая в ней давление прежде, чем значительно изменяется объем камуфлетной полости.

Это дает основание рассматривать задачу определения граничных условий в безволновой постановке и использовать уравнение состояния ПД конденсированных ВВ в виде двух адиабат [3, 4]:

$$P = \begin{cases} P_{00} \cdot \left( \frac{a}{r_3} \right)^{-3l} & \text{при } 1 \leq \frac{a}{r_3} \leq \frac{a^*}{r_3}, \\ P_{00} \cdot \left( \frac{a^*}{r_3} \right)^{-3l} \left( \frac{a}{a^*} \right)^{-3m} & \text{при } \frac{a}{r_3} \geq \frac{a^*}{r_3}, \end{cases}$$

где  $P_{00}$  – давление в полости в начальный момент после взрыва;  $r_3$  – радиус заряда (начальный радиус камуфлетной полости);  $a$  и  $a^*$  – текущий радиус и радиус камуфлетной полости в точке сопряжения адиабат ( $a^* = 1,53 \cdot r_3$ );  $l=3$  и  $m=1,2 \dots 1,4$  – степенные показатели.

Переходя к определению величины начальной скорости камуфлетной поверхности, будем считать, что экспериментально определен максимальный безразмерный радиус газовой полости  $x_l$ , образующейся при камуфлетном взрыве (радиус полости в момент ее остановки):

$$x_1 = \left( \frac{a}{r_3} \right)_{\max} = \sqrt[3]{\frac{V_{\max}}{V_0}},$$

где  $V_0$  – объем полости (сферического заряда) в начальный момент;  $V_0 = \frac{4}{3}\pi r_3^3$ ;  $V_{\max}$  – объем полости при камуфлетном взрыве, наблюдаемый по окончании ее расширения;  $V_{\max} = \frac{4}{3}\pi a^3$ .

Работа продуктов взрыва, расширяющихся по адиабатическому закону, описывается выражением [2, 15]:

$$A_0 = \int_{V_0}^{V_{\max}} P dV = \frac{P_0 V_0}{m-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_0}{V_{\max}} \right)^{m-1} \right].$$

Для оценки энергии деформаций связь между касательным напряжением  $\tau$  и деформацией сдвига  $\gamma$  примем в виде, показанном на рис. 1.

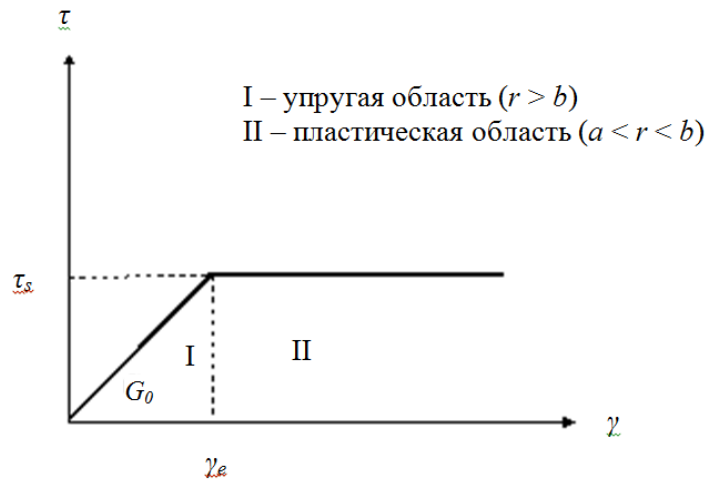


Рис. 1. Диаграмма сдвига, где:  $\tau_s$  – предел упругости;  $\gamma_e$  – предельное упругое значение деформации сдвига;  $G_0$  – модуль упругости при сдвиге;  $a$  – радиус полости;  $b$  – радиус упругопластической области;  $r$  – радиальная координата

В упругой области действие внешних сил уравнивается напряжением:

$$\tau = G_0 \cdot \gamma,$$

где  $G_0 = \text{const.}$

Элементарная работа частицы среды в упругой области  $r > b$  представляется в виде:

$$\tau d\gamma = G_0 \gamma d\gamma,$$

а потенциальная энергия деформации частицы среды при изменении деформации сдвига от 0 до  $\gamma$  определяется выражением:

$$\int_0^{\gamma} G_0 \gamma d\gamma = \frac{1}{2} G_0 \gamma^2.$$

Потенциальная энергия деформаций сдвига во всей упругой области  $\Pi_e$  находится из равенства:

$$\Pi_e = \int_b^{\infty} \frac{1}{2} G_0 \gamma^2 \cdot 4\pi \cdot r^2 dr. \quad (1)$$

Рассмотрим связи между тремя радиусами: заряда  $r_3$ , расширяющейся камуфлетной полости  $a(t)$  и упругопластической границы  $b(t)$ .

Пластическое деформирование среды наступает при достижении деформацией сдвига  $\gamma(r,t)$  предельного упругого значения  $\gamma_e$ , величина которого для материалов и грунтов изменяется в диапазоне  $\gamma_e \approx 10^{-2} \dots 10^{-4}$  [14]. Свяжем величину перемещения  $W(r,t)$  среды в точке  $r$  с радиусом полости  $a(t)$  в произвольный момент времени  $t$ . Объем вытесняемой среды камуфлетной полостью при ее расширении за время  $t$  составит:

$$V_1 = \frac{4}{3} \pi \cdot a^3 - \frac{4}{3} \pi \cdot r_3^3.$$

За это же время объем перемещаемой среды через поверхность сферы с радиусом  $r$  будет определяться зависимостью:

$$V_2 = \frac{4}{3} \pi (r+W)^3 - \frac{4}{3} \pi \cdot r^3.$$

Из закона сохранения массы при условии несжимаемости среды следует, что:

$$a^3 - r_3^3 = (r+W)^3 - r^3,$$

откуда  $(r+W)^3 = a^3 + r^3 - r_3^3$ , а при обозначении:

$$x = \frac{a}{r_3}$$

последнее соотношение переписывается как:

$$(W+r)^3 = r^3 + a^3(1-x^{-3}).$$

Раскрывая левую часть последнего равенства, получаем:

$$W^3 + 3W^2r + 3Wr^2 + r^3 = r^3 + a^3(1-x^{-3}) \text{ или} \\ \frac{W^3}{3r^2} + \frac{W^2}{r} + W = \frac{a^3}{3r^2}(1-x^{-3}). \quad (2)$$

При  $r \gg a$ , что имеет место в окрестности упругопластической границы, величины  $W$  и  $\frac{W}{r}$  имеют разные порядки ( $W \gg \frac{W}{r}$ ), поэтому, пренебрегая первыми двумя слагаемыми соотношения (2), получим:

$$W(r, t) \approx \frac{a^3}{3r^2} (1 - x^{-3}) \quad (3)$$

и, соответственно,

$$\frac{\partial W}{\partial r} = -\frac{2a^3(1 - x^{-3})}{3r^3}. \quad (4)$$

Величина главного сдвига  $\gamma$  при постоянстве плотности определяется соотношением [3]:

$$\gamma \approx \frac{W}{r} - \frac{\partial W}{\partial r} + \frac{1}{2} \left( \frac{W}{r} \right)^2 - \frac{1}{2} \left( \frac{\partial W}{\partial r} \right)^2. \quad (5)$$

Заменяя в формуле (5)  $W$  и  $\frac{\partial W}{\partial r}$  их выражениями из (3) и (4), получаем:

$$\gamma = \left( \frac{a}{r} \right)^3 (1 - x^{-3}) \frac{1 + 0,5 \left( \frac{a}{r} \right)^3 (1 - x^{-3})}{\left( 1 + \left( \frac{a}{r} \right)^3 (1 - x^{-3}) \right)^{4/3}} \approx \left( \frac{a}{r} \right)^3 (1 - x^{-3}), \quad (6)$$

так как в упругой области  $\left( \frac{a}{r} \right)^3 (1 - x^{-3}) \ll 1$ .

Из выражения следует, что на упругопластической границе ( $r=b$  и  $\gamma = \gamma_e$ ) связь между тремя радиусами определится формулой:

$$\gamma_e = \left( \frac{a}{b} \right)^3 (1 - x^{-3}). \quad (7)$$

С учетом (6) и (7) выражение (1) преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} \Pi_e &= \int_b^\infty \frac{1}{2} G_0 \left( \frac{a}{r} \right)^6 (1 - x^{-3})^2 \cdot 4\pi r^2 dr = \frac{1}{2} G_0 a^6 (1 - x^{-3})^2 \cdot 4\pi \int_b^\infty \frac{1}{r^4} dr = \\ &= -\frac{1}{2} G_0 a^6 (1 - x^{-3})^2 \frac{4\pi}{3r^3} \Big|_b^\infty = \frac{1}{2} G_0 \left( \frac{a}{b} \right)^3 (1 - x^{-3})^2 \cdot \frac{4\pi a^3}{3} = \\ &= \frac{1}{2} G_0 \gamma_e (1 - x^{-3}) \cdot V_{\max} = \frac{1}{2} \tau_s V_{\max} (1 - x^{-3}). \end{aligned}$$

В упругопластической области  $a < r < b$  потенциальная энергия деформации частицы среды запасена как упруго (так как каждая частица нагружена упруго до предела  $\gamma = \gamma_e$ ), так и в виде пластических деформаций, то есть равна:

$$\frac{1}{2} G_0 \gamma_e^2 + \tau_s (\gamma - \gamma_e) = \frac{1}{2} \tau_s \gamma_e + \tau_s \gamma - \tau_s \gamma_e = \tau_s \gamma - \frac{1}{2} \tau_s \gamma_e.$$

Потенциальная энергия деформаций сдвига во всей упругопластической области  $\Pi_p$  находится из равенства:

$$\begin{aligned}
 \Pi_p &= \int_a^b \left[ \tau_s \left( \frac{a}{r} \right)^3 (1 - x^{-3}) - \frac{1}{2} \tau_s \gamma_e \right] 4\pi r^2 dr = 4\pi \tau_s a^3 (1 - x^{-3}) \times \int_a^b \frac{1}{r} dr - 4\pi \tau_s \gamma_e \frac{1}{2} \int_a^b r^2 dr = \\
 &= 4\pi \tau_s a^3 (1 - x^{-3}) \ln r \Big|_a^b - 4\pi \tau_s \gamma_e \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} r^3 \Big|_a^b = \frac{4}{3} \pi a^3 \cdot 3 \ln \left( \frac{b}{a} \right) \tau_s (1 - x^{-3}) - \frac{4}{3} \pi \tau_s \gamma_e \cdot \frac{1}{2} (b^3 - a^3) = \\
 &= V_{\max} \cdot \ln \left( \frac{b}{a} \right) \tau_s (1 - x^{-3}) - \frac{4}{3} \pi a^3 \tau_s \gamma_e \cdot \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{b}{a} \right)^3 - 1 \right] = \\
 &= \tau_s V_{\max} (1 - x^{-3}) \ln \left( \frac{b}{a} \right) - \frac{1}{2} \tau_s V_{\max} \left( \frac{a}{b} \right)^3 (1 - x^{-3}) \times \left[ \left( \frac{b}{a} \right)^3 - 1 \right] = \\
 &= \tau_s V_{\max} (1 - x^{-3}) \ln \left( \frac{b}{a} \right) - \frac{1}{2} \tau_s V_{\max} (1 - x^{-3}) \cdot \left[ 1 - \left( \frac{a}{b} \right)^3 \right] = \\
 &= \tau_s V_{\max} (1 - x^{-3}) \left\{ \ln \left( \frac{b}{a} \right) - \frac{1}{2} \left[ 1 - \left( \frac{a}{b} \right)^3 \right] \right\}.
 \end{aligned}$$

Так как  $\left( \frac{a}{b} \right)^3 \ll 1$ , то последнее выражение можно представить в виде:

$$\Pi_p \approx \tau_s V_{\max} (1 - x^{-3}) \cdot \left[ \ln \left( \frac{b}{a} \right) - \frac{1}{2} \right].$$

Приравнявая работу расширяющихся продуктов взрыва сумме  $\Pi_e + \Pi_p$ , получаем:

$$\frac{P_{00} V_0}{m-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_0}{V_{\max}} \right)^{m-1} \right] = \frac{1}{2} \tau_s V_{\max} (1 - x_1^{-3}) + \tau_s V_{\max} (1 - x_1^{-3}) \ln \left( \frac{b}{a} \right) - \frac{1}{2} \tau_s V_{\max} (1 - x_1^{-3}),$$

откуда: 
$$\tau_s (1 - x_1^{-3}) \ln \left( \frac{b}{a} \right) = \frac{P_{00} V_0}{(m-1) V_{\max}} \left[ 1 - \left( \frac{V_0}{V_{\max}} \right)^{m-1} \right], \quad (8)$$

где  $x_1 = \left( \frac{a_{\max}}{r_3} \right) = \left( \frac{V_{\max}}{V_0} \right)^{1/3} = \left( \frac{V_0}{V_{\max}} \right)^{-1/3}$ .

Для определения зависимости функции  $y = \frac{\rho \dot{a}^2}{P_{00}}$  от  $x = \frac{a}{r_3}$  воспользуемся результатами работы [15]:

$$\frac{y(x)}{2} = \Phi x^{-3} - \frac{1}{3m-3} x^{-3m} - \frac{4A' \tau_s}{9P_{00}}, \quad (9)$$

полученном на основании показанной на рис. 1 диаграммы сдвига при постоянной плотности  $\rho = \rho_0$ . В формуле (9) приняты обозначения:

$$\Phi = \frac{\tilde{V}^2}{2} + \frac{1}{3m-3} + \frac{4A'\tau_s}{9P_{00}}, \quad (10)$$

$$A' = \ln \frac{1}{\gamma_e} + 1,$$

$$\tilde{V}^2 = y|_{x=1}, \quad \tilde{V} = const.$$

Так как в выражении для  $A'$  главным будет логарифмический член, а в формуле (7) для  $\gamma_e$  величина  $(a/b)^3$ , то соотношение (8) представим в виде:

$$\tau_s (1 - x_1^{-3}) A' = \frac{1}{m-1} x_1^{-3} \cdot P_{00} (1 - x_1^{-3(m-1)}),$$

или

$$\frac{A'\tau_s}{P_{00}} = \frac{(1 - x_1^{-3(m-1)})x_1^{-3}}{(m-1)(1 - x_1^{-3})} = \frac{(1 - x_1^{-3(m-1)})}{(m-1)(x_1^3 - 1)}.$$

После того, как величина  $\frac{A'\tau_s}{P_{00}} = \frac{A'\sigma_s}{2P_{00}}$  определена, можно найти величину  $\Phi$  в формуле (9), так как в момент остановки полости  $y(x_1) = 0$ , следовательно:

$$\Phi x_1^{-3} - \frac{1}{3m-3} x_1^{-3m} - \frac{4}{9} \cdot \frac{(1 - x_1^{-3(m-1)})}{(m-1)(x_1^3 - 1)} = 0,$$

или

$$9(m-1)(1 - x_1^{-3}) \cdot \Phi = 3(x_1^{-3(m-1)} - x_1^{-3m}) + 4 - 4x_1^{-3(m-1)} = 4 - x_1^{-3(m-1)} - 3x_1^{-3m},$$

откуда:

$$\Phi = \frac{4 - x_1^{-3(m-1)} - 3x_1^{-3m}}{9(m-1)(1 - x_1^{-3})}.$$

Найденное для  $\Phi$  выражение подставим в формулу (10):

$$\frac{4 - x_1^{-3(m-1)} - 3x_1^{-3m}}{9(m-1)(1 - x_1^{-3})} = \frac{\tilde{V}^2}{2} + \frac{1}{3m-3} + \frac{4A'\tau_s}{9P_{00}},$$

откуда:

$$\tilde{V}^2 = \frac{2(4 - x_1^{-3(m-1)} - 3x_1^{-3m})}{9(m-1)(1 - x_1^{-3})} - \frac{2}{3m-3} + \frac{8}{9} \frac{(1 - x_1^{-3(m-1)})}{(m-1)(x_1^3 - 1)}.$$

Таким образом, полученные зависимости могут быть использованы в качестве начальных условий при расчете действия камуфлетного взрыва в пористых грунтах и твердых средах. Так, например, задавая значения  $P_{00} \approx 1,8 \cdot 10^4$  МПа,  $a^* \approx 1,7r_3$  и  $m=1,3$  для тротила [1], при  $x_1 = \left(\frac{a}{r_3}\right) \approx 6$ , характерного для мягких грунтов ( $\rho \approx 1830 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ), получим

$$\tilde{V}^2 = \frac{8}{9} (1 - 6^{-0,75}) \approx 0,657 \text{ и начальную скорость камуфлетной поверхности:}$$

$$\dot{a}_{x=1} = \sqrt{\frac{P_{00} \tilde{V}^2}{\rho}} = \sqrt{\frac{(1...1,5) \cdot 10^9 \cdot 0,657}{1830}} \approx (599...734) \text{ м/с}.$$

### Определение характеристик взрывных возмущений среды при управлении воздействием камуфлетного взрыва

Предположим, что в безграничное полупространство помещен глубинный сферический заряд радиуса  $r_3$ , который мгновенно, без изменения объема, превращается в газ высокого давления  $P_0$ .

В результате обмена энергией между газообразными продуктами взрыва и окружающей средой с момента времени  $t=0$  начинается снижение давления в сферической полости и одновременное увеличение ее радиуса  $a(t)$  от начального значения, равного радиусу заряда  $a(0) = r_3$ .

Второй характеристикой геометрического положения точек возмущенной окружающей среды в сферических координатах является радиус упругопластической границы  $b(t)$ , который при разработке волновой теории действия взрыва называют радиусом «фронта» пластической волны. Предполагается, что давление в полости уменьшается в соответствии с уравнением [1, 3]:

$$P_0 = P_{00} \left( \frac{a}{r_3} \right)^{-3m}, \quad (11)$$

а его связь при  $t>0$  с противодействием окружающей среды определяется камуфлетным уравнением:

$$P_0 = A + Ba\ddot{a} + C\dot{a}^2, \quad (12)$$

где  $P_{00}$  и  $m$  – постоянные, а  $A$ ,  $B$  и  $C$  – константы упругопластической модели среды [4].

Схема распространения границы между упругой и пластической областями при расширении камуфлетной полости показана на рис. 2.

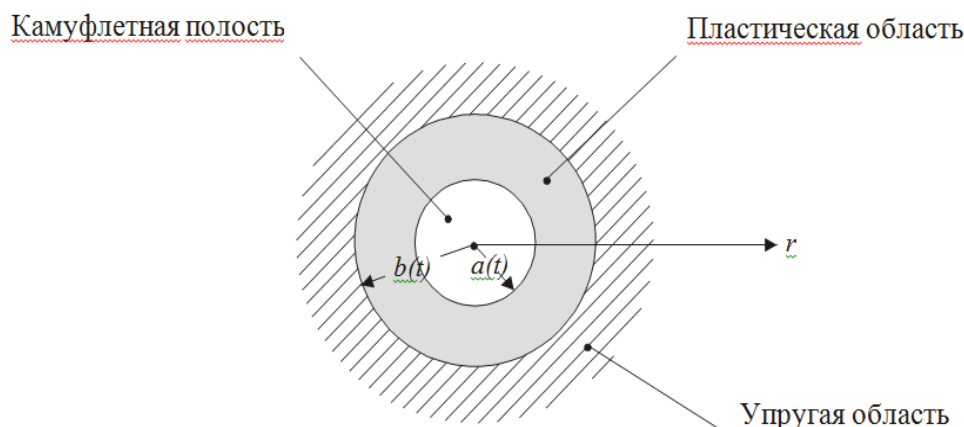


Рис. 2. Схема распространения пластической границы ( $r$  – радиальное расстояние от центра заряда ВВ)



Переход на границе из упругого состояния среды в пластическое происходит при достижении деформацией сдвига  $\gamma$  предельного упругого значения  $\gamma_e$ . Краевыми условиями на стенке полости при  $r=a(t)$  и на упругопластической границе при  $r=b(t)$  являются:

$$\dot{a} = u_{(r=a)} \dot{\epsilon} \quad P_0 = -\sigma_{r(r=a)},$$

$$\sigma_r^{(y)} \Big|_{r \rightarrow \infty} = 0,$$

где  $u(r,t)$  – направленная по радиусу из центра полости скорость частиц среды;  $\sigma_r^{(n)}$  и  $\sigma_r^{(y)}$  – радиальные напряжения.

Индексами  $(y)$  и  $(n)$  обозначаются величины, относящиеся к упругой и пластической областям деформаций; точка над переменной обозначает дифференцирование последней по времени. Требуется найти зависимости, необходимые для вычисления скорости расширения камуфлетной поверхности  $\dot{a}$ . Найденные зависимости позволят оценить размеры зон разрушения и пластического деформирования среды на различных расстояниях от центра взрыва.

Предлагаемое решение центрально-симметричной задачи о распространении взрывных возмущений в материалах и пористых грунтах основывается на продолжении решения для детонационной волны после достижения ею поверхности заряда и использует схему бесколебательного движения, согласно которой условия в камуфлетной полости связываются на ее границе с условиями в упругопластической среде.

При этом предполагается, что среда в упругой и пластической областях несжимаема, то есть эффектами распространения волн пренебрегаем. Это предположение дает возможность исследовать поля напряжений и скоростей аналитическим методом. Для определения функции  $\dot{a}$  исходное уравнение (12) представим в виде:

$$a\ddot{a} + \frac{C}{B}\dot{a}^2 = \frac{1}{B}(P_0 - A) \quad (13)$$

и введем безразмерные переменные:

$$y = \frac{\rho \dot{a}^2}{P_{00}} \quad \text{или} \quad \dot{a}^2 = \frac{y P_{00}}{\rho}, \quad x = \frac{a}{r_3},$$

тогда  $y|_{x=1} = V^2$  ( $V$  – приведенная начальная скорость камуфлетной поверхности).

Продифференцируем переменные по времени и радиальной координате:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\dot{a}}{r_3}, \quad \frac{dy}{dt} = \frac{2\rho \dot{a}\ddot{a}}{P_{00}} \quad \text{и} \quad y' = \frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} \cdot \frac{dt}{dx}.$$

С учетом выражения для  $x$  и указанных производных последнее уравнение сводится к следующему:

$$y' = \frac{2\rho \dot{a}\ddot{a}}{P_{00}} \frac{dt}{dx} = \frac{2\rho \dot{a}\ddot{a}}{P_{00}} \cdot \frac{r_3}{\dot{a}} \cdot \frac{a}{a} = \frac{2\rho}{P_{00}x} a\ddot{a}, \quad \text{откуда} \quad a\ddot{a} = \frac{y' x P_{00}}{2\rho}.$$

Подставляя полученные для  $\dot{a}^2$  и  $a\ddot{a}$  выражения в исходное соотношение (13), получаем:

$$\frac{y'xP_{00}}{2\rho} + \frac{C}{B} \cdot \frac{yP_{00}}{\rho} = \frac{1}{B}(P_0 - A). \quad (14)$$

Равенство (14) запишем в виде уравнения:

$$y' + 2N \frac{y}{x} = \frac{2\rho}{P_{00}Bx}(P_0 - A), \quad (15)$$

Где

$$N = \frac{C}{B}.$$

Уравнение (15) будет основным в поставленной задаче. Для его решения найдем такую функцию  $y(x)$ , которая является решением однородного дифференциального уравнения:

$$\frac{dy}{dx} + 2N \frac{y}{x} = 0. \quad (16)$$

После разделения переменных, интегрирования и потенцирования получим:

$$y = y_{const} \cdot x^{-2N}. \quad (17)$$

Решение уравнения (15) будем искать в виде  $y(x) = y_{const}(x) \cdot x^{-2N}$ , считая  $y_{const}(x)$  функцией аргумента  $x$ .

Соотношение (17) продифференцируем по  $x$ :

$$y' = y'_{const} \cdot x^{-2N} + y_{const}(-2N \cdot x^{-2N-1}) = y'_{const} x^{-2N} - y_{const} \cdot 2Nx^{-2N-1} \quad (18)$$

и, подставив (17) и (18) в (16), получим:

$$y'_{const} x^{-2N} - y_{const} 2Nx^{-2N-1} + 2N \frac{y_{const} x^{-2N}}{x} = \frac{2\rho}{P_{00}Bx}(P_0 - A),$$

откуда:

$$y'_{const} = \frac{2\rho}{x^{-2N+1}B} \left( \frac{P_0}{P_{00}} - \frac{A}{P_{00}} \right).$$

Для определения постоянного  $y_{const}(x)$  подставим в полученное решение начальное условие (11). Это дает:

$$\begin{aligned} y'_{const} &= \frac{2\rho}{x^{-2N+1}B} \left( \frac{a^{-3m}}{r_3^{-3m}} - \frac{A}{P_{00}} \right) = \frac{2\rho}{x^{-2N+1}B} \left( x^{-3m} - \frac{A}{P_{00}} \right) = \\ &= \frac{2\rho}{B} x^{2N-3m-1} - \frac{2\rho A}{BP_{00}} x^{2N-1}. \end{aligned}$$

Соответствующую последнему равенству величину  $y_{const}$  находим интегрированием:

$$y_{const} = \frac{2\rho}{B} \int x^{2N-3m-1} dx - \frac{2\rho A}{BP_{00}} \int x^{2N-1} dx = \frac{2\rho}{B} x^{2N} \left[ \frac{x^{-3m}}{2N-3m} - \frac{A}{2NP_{00}} \right] + \Phi,$$

где  $\Phi$  – некоторая постоянная.

Окончательно решение (17) запишется в виде:

$$y = y_{const} \cdot x^{-2N} = \frac{2\rho}{B} \cdot \left[ \frac{x^{-3m}}{2N-3m} - \frac{A}{2NP_{00}} \right] + \frac{\Phi}{x^{2N}}. \quad (19)$$

Постоянную интегрирования  $\Phi$  определим из дополнительного условия задачи  $y|_{x=1} = V^2$ :

$$V^2 = \frac{2\rho}{B} \left( \frac{1}{2N-3m} - \frac{A}{2NP_{00}} \right) + \Phi,$$

откуда:

$$\Phi = V^2 - \frac{2\rho}{B} \left( \frac{1}{2N-3m} - \frac{A}{2NP_{00}} \right). \quad (20)$$

Зависимости (19), (20) и соотношение  $\dot{a}^2 = \frac{y(x)P_{00}}{\rho}$  позволяют вычислять значения размерной скорости камуфлетной поверхности  $\dot{a}(x)$  при любом значении приведенного расстояния  $x$ . После того, как  $\dot{a}(x)$  определено, по формуле  $u(b) = \frac{a^2 \cdot \dot{a}}{b^2}$  при заданном отношении  $\frac{a}{b}$  вычисляются значения скорости частиц на различных расстояниях от центра взрыва  $u(b)$ . Результаты расчетов по определению скорости движения частиц среды в зависимости от приведенного расстояния до центра взрыва при  $x=1$  приведены на рис. 3.

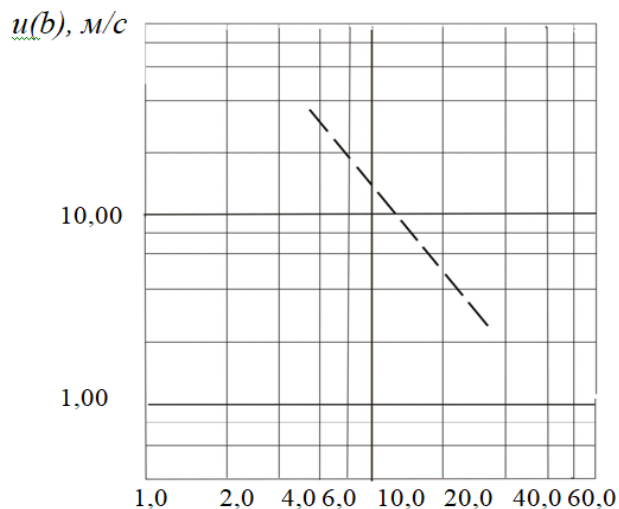


Рис. 3. Скорость движения частиц среды в зависимости от приведенного расстояния до центра взрыва: расчет по теоретической зависимости (60) при  $\rho_0=1\,830\text{ кг/м}^3$ ;  $\rho=1,01\rho_0$ ;  $E_0=150\text{ МПа}$ ;  $m=1,25$ ;  $E=0,1E_0$ ;  $\sigma_s=0,4\text{ МПа}$ ;  $P_{00}=0,12 \cdot 10^4\text{ МПа}$

Таким образом, в предположении о бесколебательном характере движения и несжимаемости среды в пластической и упругой областях получено решение центрально-симметричной задачи определения поля скоростей в сплошной упругопластической среде при камуфлетном взрыве, позволяющее оценивать размеры зон расширения, пластического деформирования среды, воздействия взрывных возмущений на объекты инфраструктуры и обосновывать мероприятия по обеспечению устойчивости их функционирования.

## Выводы

1. Показано, что в основу решения задачи определения поля скоростей в сплошной среде при камуфлетном взрыве и обоснования мероприятий по обеспечению устойчивости функционирования объектов инфраструктуры может быть положено камуфлетное уравнение – соотношение для определения давления на контактной поверхности расширяющейся сферической полости.

2. Получена зависимость для определения поля скоростей частиц сплошной среды при взрыве камуфлетного заряда.

3. Показано, что неизвестная константа, входящая в полученное соотношение, может быть определена из условия сохранения энергии, выделившейся при взрыве, во всей упругопластической области движения окружающей заряд среды.

### Список источников

1. Физика взрыва: в 2-х т. / под ред. Л.П. Орленко. 3-е изд., перераб. М., Физматлит, 2002. Т. 1. 832 с.; Т. 2. М., Физматлит, 2002. 656 с.
2. Механическое действие камуфлетного взрыва / А.Н. Бовт [и др.]. М.: Недра, 1990. 184 с.
3. Чедвик П., Кокс А., Гопкинс Г. Механика глубинных подземных взрывов: пер. с англ. М.: Мир, 1966. 127 с.
4. Седнев В.А., Копнышев С.Л. Теоретические основы оценки физической стойкости гидротехнических сооружений к воздействию ударных динамических нагрузок: монография. М., 2021. 155 с. EDN ADQHFI.
5. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Системные исследования чрезвычайных ситуаций: монография / под ред. Н.А. Махутова. М.: МГОФ «Знание», 2015. 864 с. EDN VOQBRF.
6. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности: монография / под ред. Н.А. Махутова. М.: МГОФ «Знание», 2015. 936 с. EDN UFPJBT.
7. Безопасность России. Безопасность и защищенность критически важных объектов. Часть 1. Научные основы безопасности и защищенности критически важных для национальной безопасности объектов / Н.А. Махутов [и др.]. М.: МГОФ «Знание», 2012. 896 с.
8. Седнев Ал.В. Защита коммерческой информации как составляющая обеспечения безопасности государства // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2023. № 1.
9. Седнев Ан.В. Защита информации как составляющая обеспечения безопасности государства // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2019. № 6. С. 114–119. DOI: 10.36535/0869-4176-2019-06-13. EDN TIOQGI.
10. Sednev V.A., Kopynshev S.L., Sednev A.V. Estimation of the penetration depth of an impactor with a hemispherical head part into a semi-infinite medium when penetrated along the normal to the surface // Journal of machinery manufacture and reliability. 2020. Vol. 49. № 8. P. 659–666. DOI: 10.3103/S1052618820080130.
11. Седнев В.А., Копнышев С.Л., Седнев А.В. Исследование этапов процесса и обоснование математической модели расширения сферической полости в грунтах и горных породах // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. № 2 (44). С. 302–314. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-2-302-314. EDN: IJPROE.
12. Седнев В.А., Седнев А.В., Седнев Ал.В. Применение стохастических методов в математическом моделировании действий и при обосновании решений // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2022. № 5. С. 45–60. DOI: 10.36535/0869-4176-2022-05-4. EDN PVQVAN.

13. 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. EDN PVHMQW.

14. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности. М.: Высшая школа, 1982. 264 с.

15. Ишлинский А.Ю., Зволинский Н.В., Степаненко Н.З. К динамике грунтовых масс // ДАН СССР. 1954. Т. 95. № 4.

## References

1. Fizika vzryva: v 2-h t. / pod red. L.P. Orlenko. 3-e izd., pererab. M., Fizmatlit, 2002. T. 1. 832 s.; T. 2. M., Fizmatlit, 2002. 656 s.

2. Mekhanicheskoe dejstvie kamufletnogo vzryva / A.N. Bovt [i dr.]. M.: Nedra, 1990. 184 s.

3. Chedvik P., Koks A., Gopkins G. Mekhanika glubinyh podzemnyh vzryvov: per. s angl. M.: Mir, 1966. 127 s.

4. Sednev V.A., Kopnyshev S.L. Teoreticheskie osnovy ocenki fizicheskoy stojkosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenij k vozdejstviyu udarnykh dinamicheskikh nagruzok: monografiya. M., 2021. 155 c. EDN ADQHFI.

5. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, social'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty. Sistemnye issledovaniya chrezvychajnykh situacij: monografiya / pod red. N.A. Mahutova. M.: MGOF «Znanie», 2015. 864 s. EDN VOQBRF.

6. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, social'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty. Nauchnye osnovy tekhnogennoj bezopasnosti: monografiya / pod red. N.A. Mahutova. M.: MGOF «Znanie», 2015. 936 s. EDN UFPJBT.

7. Bezopasnost' Rossii. Bezopasnost' i zashchishchennost' kriticheski vazhnykh ob"ektov. Chast' 1. Nauchnye osnovy bezopasnosti i zashchishchennosti kriticheski vazhnykh dlya nacional'noj bezopasnosti ob"ektov / N.A. Mahutov [i dr.]. M.: MGOF «Znanie», 2012. 896 s.

8. Sednev Al.V. Zashchita kommercheskoj informacii kak sostavlyayushchaya obespecheniya bezopasnosti gosudarstva // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnykh situacij. 2023. № 1.

9. Sednev An.V. Zashchita informacii kak sostavlyayushchaya obespecheniya bezopasnosti gosudarstva // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnykh situacij. 2019. № 6. S. 114–119. DOI: 10.36535/0869-4176-2019-06-13. EDN TIOQGI.

10. Sednev V.A., Kopnyshev S.L., Sednev A.V. Estimation of the penetration depth of an impactor with a hemispherical head part into a semi-infinite medium when penetrated along the normal to the surface // Journal of machinery manufacture and reliability. 2020. Vol. 49. № 8. P. 659–666. DOI: 10.3103/S1052618820080130.

11. Sednev V.A., Kopnyshev S.L., Sednev A.V. Issledovanie etapov processa i obosnovanie matematicheskoy modeli rasshireniya sfericheskoy polosti v gruntah i gornyh porodah // Ustojchivoe razvitie gornyh territorij. 2020. T. 12. № 2 (44). S. 302–314. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-2-302-314. EDN IJROE.

12. Sednev V.A., Sednev A.V., Sednev Al.V. Primenenie stohasticheskikh metodov v matematicheskom modelirovanii dejstvij i pri obosnovanii reshenij // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnykh situacij. 2022. № 5. С. 45–60. DOI: 10.36535/0869-4176-2022-05-4. EDN PVQVAH.

13. Sednev V.A., Sednev Al.V. Modelirovanie organizacii rabot po oborudovaniyu sbornogo punkta povrezhdennykh mashin // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 3. S. 110–118. EDN PVHMQW.

14. Samul' V.I. Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti. M.: Vysshaya shkola, 1982. 264 s.

15. Ishlinskij A.Yu., Zvolinskij N.V., Stepanenko N.Z. K dinamike gruntovykh mass // DAN SSSR. 1954. Т. 95. № 4.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 31.01.2023; одобрена после рецензирования: 21.03.2023;  
принята к публикации: 24.03.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 31.01.2023; approved after review: 21.03.2023;  
accepted for publication: 24.03.2023

*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>

**Копнышев Сергей Львович**, доцент кафедры гражданской обороны, защиты населения и территорий Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: serkopn@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8071-0444>

**Сергеенкова Надежда Александровна**, доцент кафедры гражданской обороны, защиты населения и территорий Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), кандидат технических наук, e-mail: sergeenkova.n.a@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-7753-323X>

*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 region 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>

**Kopnyshev Sergey L.**, docent 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), candidate of technical sciences, senior researcher, e-mail: serkopn@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8071-0444>

**Sergeenkova Nadezhda A.**, docent 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), candidate of technical sciences, e-mail: sergeenkova.n.a@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-7753-323X>

Научная статья

УДК 614.841.2

## **АНАЛИЗ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ, ВЫЗВАННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТУМАНА И ДЫМА ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ**

✉ Ложкина Ольга Владимировна;

Орловцев Сергей Викторович;

Нефедьев Сергей Аркадьевич.

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

✉ [lozhkina@yandex.ru](mailto:lozhkina@yandex.ru)

*Аннотация.* Статья посвящена анализу дорожно-транспортных происшествий, обусловленных снижением видимости на дороге вследствие воздействия мелкодисперсных аэрозолей тумана и/или дыма природных пожаров. На основе анализа отечественных и зарубежных источников информации установлено, что доля таких дорожно-транспортных происшествий может достигать 0,7–5 % от общего числа аварий. Такие аварии чаще, по сравнению с дорожными происшествиями в условиях ясной погоды, являются более массовыми и приводят к тяжелым последствиям (наличие раненых и погибших). В статье также приведен обзор моделей для оценки вероятности аварийности и оценки тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий в условиях недостаточной видимости, разработанных на основе логистической порядковой регрессии.

*Ключевые слова:* чрезвычайные ситуации, дорожно-транспортные происшествия, туман, дым природных пожаров, снижение видимости, порядковые логистические модели

**Для цитирования:** Ложкина О.В., Орловцев С.В., Нефедьев С.А. Анализ чрезвычайных ситуаций на автомобильном транспорте, вызванных воздействием тумана и дыма природных пожаров // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 72–83.

Scientific article

## **ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENTS RELATED TO FOG AND WILDFIRE SMOKE**

✉ Lozhkina Olga V.;

Orlovtssev Sergey V.;

Nefed'ev Sergey A.

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

✉ [lozhkina@yandex.ru](mailto:lozhkina@yandex.ru)

*Abstract.* The paper analyses traffic accidents caused by low visibility due to fine aerosols of fog and/or smoke from wildfires. Based on the analysis of Russian and foreign sources of information, it was found that the share of such accidents can reach 0,7–5 % of the total number of accidents. Compared to accidents under good visibility conditions, fog/smoke related crashes tend to result in more severe injuries and involve more vehicles. The paper also provides an overview of models for assessing crash occurrence under different levels of visibility with respect to temporal distribution and influential factors of accidents and estimating the effects of various factors on injury severity in low visibility conditions, – all developed on the basis of logistic ordinal regression.

*Keywords:* emergencies, traffic accidents, fog, wildfires smoke, low visibility, ordinal logistic models

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

**For citation:** Lozhkina O.V., Orlovtssev S.V., Nefed'ev S.A. Analysis of traffic accidents related to fog and wildfire smoke // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 72–83.

## Введение

Уже более 120 лет, начиная с 1900 г., на мировом уровне идет постоянное наблюдение за динамикой средней температуры воздуха на планете. Анализ данных свидетельствует об увеличении этого показателя к 2021 г. на 1,1 °C по сравнению с 1900 г. [1]. Такой, на первый взгляд, небольшой рост средней температуры воздуха фактически приводит к серьезным изменениям на планете, проявляющимся в таянии ледников и вечной мерзлоты, повышении уровня мирового океана, увеличении продолжительности периодов жаркой сухой погоды, увеличении числа наводнений и прочих стихийных бедствий. Одними из ключевых последствий глобального потепления считаются природные пожары, число и масштабы которых из года в год увеличиваются как в нашей стране, так и за рубежом [2, 3]. Взаимозависимость изменения климата и лесных пожаров уже неоднократно доказана учеными из разных стран [2–6].

Длительные природные пожары наносят колоссальный экономический ущерб и оказывают крайне негативное влияние на жизнедеятельность населения, проживающего в зонах влияния дыма природных пожаров, и на транспортные процессы.

С точки зрения влияния на условия дорожного движения воздействие дыма аналогично воздействию тумана – снижение видимости, но, в отличие от тумана, токсичные продукты горения и мелкодисперсные взвешенные частицы могут оказывать воздействие на самочувствие водителей и их способность управлять транспортным средством [7, 8].

Несмотря на исключительную важность дальности видимости для безопасности дорожного движения и у нас в стране, и за рубежом, при оформлении дорожно-транспортных происшествий (ДТП) условия видимости детально не анализируются и не документируются, поэтому в отечественной и зарубежной научной литературе очень мало работ, посвященных количественным оценкам риска ДТП от условий видимости [9–14].

Цель данного исследования заключалась в анализе чрезвычайного воздействия тумана и дыма природных пожаров на безопасность дорожного движения, анализе моделей оценки вероятности аварийности и оценки тяжести последствий ДТП в условиях недостаточной видимости.

## 1. Аналитическая часть

### 2.1. Анализ аварийности в условиях недостаточной видимости, обусловленной туманом или дымом природных пожаров

Согласно результатам исследований, выполненных в Бразилии и основанных на статистических данных Федерального дорожного патруля (Federal highway patrol), туман явился причиной 11 763 ДТП, произошедших в стране в период с 2011 по 2020 г., что составило примерно 5 % от общего числа аварий, случившихся при неблагоприятных погодных условиях (дождь, туман, снег, сильный ветер и т.д.) [15].

Из анализа научных работ американских ученых следует, что в обобщенном за 2008–2018 гг. антирейтинге США по числу ДТП, случившихся при недостаточной видимости в условиях тумана или дыма природных пожаров, лидируют Калифорния, Техас и Флорида [11, 16]. В работах [11, 16] авторы приводят следующие статистические данные: во Флориде в 2008–2012 гг. произошло по этой причине 4 945 аварий (4,2 % от общего числа аварий, случившихся при неблагоприятных погодных условиях), а в 2013–2017 гг. – 9 103, то есть их количество увеличилось в 1,84 раза. Исследователи установили, что 64 % аварий



случились в утренние часы с 5 до 9 утра (максимум в 5–6 утра). Ими также было выявлено, что подавляющее большинство (71,1 %) ДТП произошло на нескоростных дорогах (преимущественно сельских неосвещенных), тогда как на скоростных значительно меньше – 9,3 %. Около 67 % аварий произошли непосредственно на дорогах, а 31 % – на перекрестках. Анализ аварий по типу показал, что превалировали наезды сзади (27,7 %), далее – съезд с дороги (18,8 %) и ДТП с участием одного автомобиля (8,3 %), то есть все типы аварий, напрямую связанные с ограниченной видимостью. Штат Флорида печально известен чрезвычайными ДТП, вызванными явлением, получившим название «суперсмог» [17, 18]. Суперсмог представляет собой высококонцентрированный гетерогенный аэрозоль, образующийся в результате накопления в приземном слое атмосферы в условиях температурной инверсии твердых частиц дыма и микрокапель тумана. Видимость в таких условиях становится практически нулевой (менее 3 м).

Ниже перечислены самые крупные аварии с массовой гибелью и ранением людей, случившиеся во Флориде:

- несколько ДТП 3 марта 2022 г. в Volusia County на скоростной автодороге Interstate-95, в результате которых погибли 3 чел. и более 10 чел. были ранены;
- несколько ДТП 31 января 2012 г. в Северной Флориде на скоростной автодороге Interstate-75, в результате которых погибли 11 чел. и были ранены 18 чел.;
- ДТП с участием 70 автомобилей, случившееся 9 января 2008 г. на скоростной автодороге Interstate-4 между г. Орландо и г. Тампой, в котором погибли 5 чел. и были ранены 38 чел.

При этом следует отметить, что в 2008 и 2022 гг. задымление на трассе было вызвано санкционированными властями палами растительности на близлежащих территориях. Все эти аварии произошли в ранние утренние часы практически при нулевой видимости в условиях суперсмога.

В нашей стране влияние погодных условий на безопасность дорожного движения анализировалось в работах И.А. Новикова [19]. Анализ большого массива статистических данных об аварийности в Белгородской обл. в период 2014–2018 гг. показал, что из 1 260 ДТП 816 (60,3 %) произошло в ясную погоду, а 444 (39,7 %) – в пасмурную, из них 146 случились в пасмурную погоду в условиях недостаточной видимости: 9 аварий в условиях тумана, 70 – в дождь и 67 – в снегопад.

Среди чрезвычайных происшествий на дороге, случившихся в условиях тумана в нашей стране, наиболее масштабными были:

- серия ДТП на дороге федерального значения Р-228 Сызрань – Саратов – Волгоград в 7 ч 45 мин 12 марта 2023 г. с суммарным участием 24 автотранспортных средств, в результате аварии 13 чел. получили ранения [20];
- серия ДТП на дороге федерального значения М5 Урал в 8 ч 10 мин 10 февраля 2015 г. в Подмосковье около г. Жуковский с участием более 30 автомобилей; в результате чрезвычайного происшествия несколько человек получили ранения, погибших не было [21].

На рис. 1 представлены фотографии с места ДТП во Флориде (рис. 1 а), произошедшего 3 марта 2022 г., и места ДТП в Саратовской обл. (рис. 1 б), имевшего место 12 марта 2023 г.

При исследовании данной тематики авторами были обнаружены сведения о массовых ДТП, имевших место в Кемеровской обл. в апреле 2017, 2018, 2019, 2020 и 2022 гг. и обусловленных критическим снижением видимости из-за задымления, вызванного палом травы вблизи автодорог региона. Сведения о чрезвычайных происшествиях обобщены на основе анализа карточек ДТП, находящихся в открытом доступе на официальном сайте ГИБДД Российской Федерации (URL: <http://stat.gibdd.ru/>), и представлены в таблице.



а

б

Рис. 1. Фотографии с места ДТП во Флориде, произошедшего на автомагистрали Interstate-95 3 марта 2022 г. в результате сильного задымления (а) и с места ДТП в Саратовской обл., произошедшего на автомагистрали Р-228 12 марта 2023 г. в результате сильного тумана (б) (<https://www.mynews13.com/fl/orlando/traffic/2022/03/03/fatal-crashes-on-i95-in-volusia-county> и <https://www.saratov.kp.ru/daily/27476.5/4732257/>)

Таблица

**Сведения о чрезвычайных дорожных происшествиях в Кемеровской обл., обусловленных задымлением автодорог вследствие природных пожаров в 2017–2022 гг.**

Дата ДТП	Место ДТП	Вид ДТП	Число ТС	Число участников	Число раненых	Число погибших	Ссылка на информацию в СМИ*
28.04.22	Дорога Кемерово – Новокузнецк, 117 км	Наезд на стоящее ТС	4	4	1	1	А
23.04.20	Дорога Новосибирск – Ленинск – Кузнецкий – Кемерово – Юрга, 220 км	Столкновение (одновременно два ДТП)	11 (9 авт., 2 прицепа)	9	4	0	Б
12.04.19	Дорога Ленинск – Кузнецкий – Прокопьевск – Новокузнецк, 106 км	Столкновение	3	12	9	0	В
12.04.19	Дорога Ленинск – Кузнецкий – Прокопьевск – Новокузнецк, 106 км	Столкновение	3	4	2	0	В
20.04.18	Дорога Ленинск – Кузнецкий – Прокопьевск – Новокузнецк, 2 км	Опрокидывание	1	2	1	0	Г
27.04.17	Дорога Ленинск – Кузнецкий – Новокузнецк – Междуреченск, 46 км	Столкновение	11	11	0	0	Д

*Примечания: \**

- а) Сардакова Е.В. В Новокузнецке ограничили движение по Ильинскому шоссе из-за возгорания травы. 1 мая 2022 г. URL: <https://www.kem.kp.ru/online/news/4730550/> (дата обращения: 18.03.2023).
- б) В Кузбассе из-за дыма от пала травы столкнулись восемь автомобилей. 24 апреля 2020 г. URL: <https://42.мвд.рф/сми-о-полиции-кузбасса/item/20044088/> (дата обращения: 18.03.2023).
- в) Второе за сутки ДТП из-за дыма от горящей травы произошло в Кузбассе. 12 апреля 2019 г. URL: <https://www.interfax-russia.ru/siberia/news/vtoroe-za-sutki-dtp-iz-za-dyma-ot-goryashchey-travy-proizoshlo-v-kuzbasse?ysclid=lh57y5ekr149990889> (дата обращения: 18.03.2023).
- г) Огненный ужас под Новокузнецком: из-за пала травы на трассе образовалась дымовая завеса. 23 апреля 2018 г. URL: <https://nk-tv.com/206041.html?ysclid=lh59344ggn632282854> (дата обращения: 18.03.2023).
- д) Сразу 11 автомобилей столкнулись в Кемеровской области из-за дыма. 28 апреля 2017 г. URL: <https://ren.tv/news/x/188043-srazu-11-avtomobilei-stolknulis-v-kemerovskoi-oblasti-iz-za-dyma?ysclid=lg5iqr8dl192480731> (дата обращения: 18.03.2023)

Проведенный анализ показал, что резкое снижение видимости из-за тумана или дыма приводит к массовым ДТП с участием большого количества автотранспортных средств. Для разработки эффективных мер, направленных на снижение аварийности в условиях воздействия дыма или тумана, необходима разработка моделей по оценке вероятности (риска) возникновения таких ДТП с определением значимости различных сопутствующих факторов (например, интенсивности движения, геометрических характеристик дорог, освещенности и т.д.) и степени тяжести последствий. В двух следующих разделах рассмотрены примеры таких моделей.

## **2.2. Логистическая порядковая модель для оценки вероятности дорожной аварийности в условиях недостаточной видимости, обусловленной дождем или туманом**

Subasish Das с коллегами в своей работе [12], посвященной анализу аварийности в штате Флорида в 2010–2012 гг., подчеркивают, что, несмотря на свою важность для безопасности дорожного движения, условия видимости во время ДТП часто не документируются с высокой степенью детализации, и это представляет сложность для выявления количественной зависимости аварийности от дальности видимости.

Для решения этой проблемы исследователи сопоставили метеорологические данные, собранные Национальным управлением океанических и атмосферных исследований (NOAA) на метеорологических станциях вблизи аэропортов, с данными о ДТП в районах, прилегающих к аэропортам (на удалении не более 5 миль от них), и разработали на их основе порядковую логистическую модель, связывающую аварийность и условия видимости. Условия видимости были разделены на три категории: плохая видимость в условиях тумана (0–0,5 мили), средняя видимость в условиях дождя (0,5–4,0 мили), хорошая видимость в ясную погоду (> 4 мили). Для каждого исследуемого участка улично-дорожной сети данные по аварийности в условиях ограниченной видимости сопоставлялись с данными по аварийности в условиях ясной погоды не более чем за неделю до или недель позже периода плохой погоды.

Порядковую логистическую регрессию можно рассматривать как расширение простой логистической регрессии для бинарной переменной отклика. В простой логистической регрессии логарифм шансов возникновения события моделируется как линейная комбинация независимых переменных. При выполнении порядкового логистического регрессионного анализа выполняется анализ упорядоченной логит-модели, в которой используется накопление событий для логарифма вычисленных шансов [22].

В разработанной модели в качестве переменной отклика рассматривается аварийность в зависимости от условий видимости, и рассматриваются три порядковые категории отклика: хорошая видимость, средняя видимость и плохая видимость [12]. Кумулятивная модель строится на основе порядковой переменной отклика  $Y_i$ . Кумулятивная вероятность определяется как:

$$Y_{ik} = P(Y_i \leq k) = \pi_{i1} + \dots + \pi_{ik},$$

где  $k$  – число категорий порядковой зависимой переменной (переменной отклика) минус 1;  $\pi_{ik}$  – вероятность  $i$ -го наблюдения для категории отклика  $k$ .

Кумулятивная логистическая функция записывается следующим образом:

$$\text{logit}(y_{ik}) = \text{logit}(P(Y_i \leq k)) = \log \left[ \frac{P(Y_i \leq k)}{1 - P(Y_i \leq k)} \right] = \theta_k - x_{\mu},$$

где  $\theta_k$  – интерсепт (константа регрессии) для категории отклика  $k$ ;  $x_{\mu}$  – транспонент вектора независимых переменных (предикторов);  $x_{\mu} = \sum_1^i \beta_i x_i$  ( $x_i$  – независимые переменные,  $\beta_i$  – их коэффициенты);  $x_{\mu}$  зависит от категорий  $k$ .

В этом исследовании в качестве независимых переменных рассматривались: среднегодовая дневная интенсивность движения, возраст водителя, процент грузовиков, средняя ширина обочины, максимальная скорость, тяжесть последствий аварии.

Было установлено, что отношение шансов тяжелых последствий при ДТП при недостаточной видимости по сравнению с условиями средней и хорошей видимости вместе взятых составляет 1,304, что указывает на 30 %-й рост вероятности аварий, приводящих к серьезному травмированию при плохой видимости (при условии, что все остальные переменные остаются постоянными).

При оценке влияния скорости было показано, что отношение шансов аварий при недостаточной видимости по сравнению с условиями средней и хорошей видимости составляет 1,008 при увеличении скорости движения на каждые 5 миль/ч.

Ширина обочины и процент грузовиков в автотранспортном потоке практически не оказывают влияние на аварийность.

Среднегодовая интенсивность движения также не имела существенного влияния на аварийность в условиях плохой видимости по сравнению с условиями средней и хорошей видимости (отношение шансов было равно 1), что может быть связано с тем, что люди, по возможности, отказываются от передвижения на машине в ненастье.

Вероятность аварии в условиях плохой видимости с участием пожилых водителей (старше 50 лет) ниже, чем с участием водителей молодого и среднего возраста (от 20 до 50 лет), что неудивительно, поскольку водители старшего возраста проявляют большую осторожность и отказываются от поездки на автомобиле в некомфортных погодных условиях.

### **2.3. Многоуровневая порядковая логистическая модель для оценки тяжести последствий ДТП в условиях недостаточной видимости**

Mohamed Abdel-Aty вместе с коллегами провел масштабные исследования дорожно-транспортных происшествий, случившихся во Флориде в условиях воздействия тумана или дыма природных пожаров [11, 13, 16], в том числе изучил особенности таких аварий по степени тяжести, типу, дорожным условиям и другим параметрам [11].

В базе данных аварий тяжесть ДТП определяется в соответствии с пятью категориями тяжести травмирования участников движения: С1 – «без травм/только материальный ущерб», С2 – «возможны травмы», С3 – «травмы, не приводящие к потере трудоспособности» – считаются нетяжелыми авариями, а С4 – «травмы, приводящие к потере трудоспособности» и С5 – «смертельный исход (в течение 30 дней)» считаются авариями с тяжелыми последствиями.

Среди видов аварий были проанализированы следующие:

- 1) наезд сзади;
- 2) лобовое столкновение;
- 3) боковое столкновение;
- 4) столкновение под углом;
- 5) столкновение при левом повороте.

Для того чтобы оценить, приводят ли аварии в условиях тумана/дыма к тяжелым ранениям и какие типы аварий характерны для таких условий, был использован метод отношения шансов (odd ratio – OR):

$$OR_i = \frac{N_i^{FS}/N_i^{CV}}{N^{FS}/N^{CV}},$$

где  $OR_i$  – отношение шансов для  $i$ -го типа ДТП (например, по тяжести последствий (пять категорий, описаны выше) или вида аварии (пять видов, описаны выше), массовости аварии (массовые с участием более 2 ТС и немассовые с участием 1–2 ТС);  $N_i^{FS}$  – количество аварий  $i$ -го типа в условиях тумана или дыма;  $N_i^{CV}$  – количество аварий  $i$ -го типа в условиях ясной погоды;  $N^{FS}$  – общее количество аварий в условиях тумана или дыма;  $N^{CV}$  – общее количество аварий в условиях ясной погоды.

В результате было установлено, что в условиях тумана или дыма чаще происходят аварии с тяжелыми последствиями, чем при ясной погоде ( $OR=3,24$ ). Несмотря на то что в таких условиях случаются все вышеупомянутые виды аварий, наиболее часто имеют место лобовые столкновения ( $OR=3,66$ ). Эти данные хорошо согласуются с ранее установленным фактом, что большинство аварий в условиях тумана или дыма произошли во Флориде на неосвещенных сельских дорогах без разделения полос встречного движения.

Для дальнейшего анализа ДТП, имевших место в условиях недостаточной видимости, обусловленной туманом или дымом, авторами была разработана многоуровневая порядковая логистическая модель, суть которой описана ниже.

Переменная  $y_{ij}$  – это переменная, характеризующая степень тяжести  $i$ -й аварии, произошедшей в  $j$ -м сегменте сети дорог ( $i = 1, \dots, 994$ ;  $j = 1, \dots, 597$ ), и имеющая пять возможных интервалов значений, соответствующих пяти категориям тяжести аварий C1, ..., C5, в соответствии с четырьмя пороговыми значениями ( $k=1, 2, 3, 4$ ). Для учета межсегментной неоднородности задается набор переменных пороговых значений для отдельных сегментов. Пороговые значения определяют границы между интервалами, соответствующими наблюдаемым результатам тяжести последствий ДТП.

Предполагается, что существует скрытая переменная  $y_{ij}^*$ , также зависящая от вышеописанных факторов, в зависимости от значений которой наблюдаемая категориальная переменная  $y_{ij}$  принимает те или иные значения;  $y_{ij}$  связана с  $y_{ij}^*$  следующим образом:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } -\infty < y_{ij}^* \leq \gamma_{1j} \\ k, \text{ если } \gamma_{(k-1)j} < y_{ij}^* \leq \gamma_{kj}, k = 2, 3, 4, \\ 5, \text{ если } \gamma_{4j} < y_{ij}^* < +\infty \end{cases}$$

где логистическая функция записывается в следующем виде:

$$y_{ij}^* = \theta_{ij} + \varepsilon_{ij} \text{ и } \theta_{ij} = \sum_{p=1}^P \beta_p x_{pij},$$

где  $x_{pij}$  –  $p$ -й ковариант (независимая переменная)  $i$ -й аварии, произошедшей в  $j$ -м сегменте;  $\theta_{ij}$  – вектор параметров модели;  $\varepsilon_{ij}$  – соответственно случайная составляющая (ошибка);  $\beta_p$  – коэффициент регрессии. Предполагается, что  $\varepsilon_{ij}$  имеет логистическое распределение с кумулятивной плотностью  $F$ .

Тогда кумулятивная вероятность может быть выражена следующим образом:

$$P_{ij(k)} = \Pr(y_{ij} \leq k) = F(\gamma_{kj} - \theta_{ij}) = \frac{\exp(\gamma_{kj} - \theta_{ij})}{1 + \exp(\gamma_{kj} - \theta_{ij})},$$

где  $k=1, 2, 3, 4$ , что соответствует следующей кумулятивной логистической модели:

$$\text{Logit}(P_{ij(k)}) = \log \left[ \frac{P_{ij(k)}}{1-P_{ij(k)}} \right] = \log \left[ \frac{\Pr(y_{ij} \leq k)}{\Pr(y_{ij} > k)} \right] = \gamma_{kj} - \theta_{ij},$$

где  $k = 1, 2, 3, 4$ .

Из 18 проанализированных ковариантов статистически значимыми были признаны 8 [11], из которых наибольшую значимость продемонстрировали переменные «ln(ADT)» (ADT – усредненная суточная интенсивность движения), «сельская дорога», «отсутствие освещения», «молодой водитель».

Проведенный с помощью разработанной модели анализ показал, что увеличение интенсивности дорожного движения оказывает положительное влияние на снижение уровня тяжести травматизма в авариях, что может быть объяснено снижением скоростей движения автотранспортных потоков при возрастании числа участников. Также было установлено, что серьезные аварии гораздо чаще происходят в сельской местности, нежели в городах или пригородах. Это может быть связано с тем, что на сельских дорогах водители, как правило, двигаются с большей скоростью и менее внимательны из-за низкой интенсивности движения. Движение на высокой скорости, особенно в условиях недостаточной видимости из-за тумана или дыма, снижает способность водителя избежать столкновения. Также было доказано, что эта проблема усугубляется ночью на дорогах без освещения. Кроме того, результаты показали, что ДТП в условиях дыма/тумана с участием молодых водителей, как правило, имели менее тяжкие последствия, чем с участием возрастных водителей. Этот результат может быть объяснен лучшим физическим состоянием молодых водителей (лучшим зрением, реакцией, физической подготовкой), что может помочь им избежать серьезных травм при столкновении в условиях недостаточной видимости. Тем не менее стоит отметить, что риск ДТП с участием молодых водителей был выше, чем с участием пожилых водителей.

### Заключение

Проведенный анализ показал, что проблема аварийности на автомобильных дорогах в условиях недостаточной видимости, вызванной туманом или дымом природных пожаров, актуальна для Российской Федерации и зарубежных стран. Доля таких аварий составляет от 0,7 до 5 % от общего числа ДТП. Подобные аварии чаще, по сравнению с дорожными происшествиями в условиях ясной погоды, являются более массовыми и приводят к тяжелым последствиям: в ДТП в Саратовской обл. 12 марта 2023 г. суммарно столкнулись 24 автомобиля, 11 чел. получили ранения разной степени тяжести; во Флориде 9 января 2008 г. произошло одно из самых массовых ДТП с участием 70 автомобилей, 5 чел. погибли, 38 были ранены.

Высокая дорожная аварийность по причине воздействия тумана и дыма природных пожаров во Флориде обусловила необходимость разработки различных расчетных моделей для оценки вероятности (риска) ДТП и вероятности (риска) их тяжелых последствий. Для решения этой задачи исследователи применяют модели на основе порядковой логистической регрессии.

Subasish Das с коллегами с использованием этого подхода на примере анализа аварийности во Флориде установили, что хотя в ненастную погоду при плохой видимости, обусловленной туманом, наблюдается тенденция к снижению интенсивности движения и снижению скорости движения, риск ДТП возрастает примерно на 30 %.

Mohamed Abdel-Aty с коллегами также на примере исследования ДТП во Флориде с помощью разработанной ими многоуровневой порядковой логит-модели выявили, что аварии в условиях плохой видимости, обусловленной туманом или дымом природных

пожаров, более распространены на скоростных автодорогах, дорогах без разделительной полосы, дорогах без обочин и двухполосных сельских дорогах. Они чаще всего происходят ночью или рано утром на дорогах без освещения.

В обоих исследованиях было показано, что риск таких аварий с участием водителей молодого и среднего возраста (20–50 лет) выше, чем с участием водителей старшего возраста.

Учитывая наблюдающуюся тенденцию потепления климата, изменения погодных условий, увеличения масштабов и длительности природных пожаров, а следовательно, и возрастания площади территорий, находящихся в зонах опасного влияния мелкодисперсных частиц дыма, правомерно ожидать возрастания дорожной аварийности в условиях недостаточной видимости. Для адекватного реагирования на подобные чрезвычайные дорожные ситуации потребуется, в том числе, разработка моделей для прогнозирования риска таких ДТП и оценки эффективности мероприятий, направленных на их сокращение.

### Список источников

1. IPCC: AR6 Climate Change 2021: The physical science basis. Geneva, Switzerland. 2021.
2. 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. № 2 (63). С. 111–121.
3. Ложкина О.В., Орловцев С.В. Анализ влияния изменения климата на природные пожары на примере России // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. СПб., 2022. С. 191–194.
4. Spreading like Wildfire – The rising threat of extraordinary landscape fires // A UNEP rapid response assessment. United Nations Environment Programme (2022). Nairobi, 2022. 126 p.
5. Щеглова Е.Г. О влиянии погодных условий на пожары природных объектов // Вестник ОГУ. 2013. № 1 (150). С. 166–170.
6. Дубровская О.А., Мальбахов В.М., Шлычков В.А. Влияние массовых лесных пожаров на циклонические процессы в Сибири // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12. № 2. С. 58–66.
7. Ложкин В.Н. Исследование влияния торфяного пожара на комплексную безопасность автотранспортного движения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 88–93.
8. Ложкин В.Н. Моделирование опасного для населения воздействия торфяного пожара // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 3 (26). С. 16–19.
9. Комплексная оценка и анализ показателей дорожно-транспортных происшествий на примере регионов Черноземья / А.С. Бобешко [и др.] // Мир транспорта и технологических машин. 2018. № 4. С. 62–68.
10. Научно-методологический подход к снижению аварийности на дорогах Российской Федерации / И.А. Новиков [и др.] // Мир транспорта и технологических машин. 2019. № 3. С. 58–65.
11. A study on crashes related to visibility obstruction due to fog and smoke / M. Abdel-Aty [et al.] // Accident analysis and prevention. 2011. № 43. P. 1 730–1 737.
12. Association of reduced visibility with crash outcomes / S. Das [et al.] // IATSS Research. 2018. № 42. P. 143–151.
13. Real-time assessment of fog-related crashes using airport weather data: a feasibility analysis / M.M. Ahmed [et al.] // Accid. Anal. Prev. 2014. № 72. P. 309–317.
14. Wu Y., Abdel-Aty M., Lee J. Crash risk analysis during fog conditions using real-time traffic data // Accident Analysis & Prevention. 2018. Vol. 114. P. 4–11.
15. Calsavara F., Kabbach F.I., Larocca A.P.C. Effects of fog in a brazilian road segment analyzed by a driving simulator for sustainable transport: drivers' speed profile under in-vehicle warning systems // Sustainability. 2021. Vol. 13: 10501.

16. Lee J., Abdel-Aty M.A. Investigation of low visibility related crashes in Florida // Final report. Contract BDV24-977-31. University of central Florida. 2019. 78 p.
17. Ложкина О.В. Обзор зарубежных подходов для моделирования распространения дыма природных пожаров и прогнозирования его воздействия на безопасность дорожного движения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 1 (53). С. 100–105.
18. Ложкина О.В., Онов В.А., Комашинский В.И. Информационный процесс мониторинга и прогнозирования опасного воздействия дыма торфяного пожара на безопасность дорожного движения // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 3. С. 21–28.
19. Новиков И.А. Методология прогнозирования и предупреждения дорожно-транспортных происшествий: дис. ... д-ра техн. наук. 2019. Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева. 305 с.
20. Дорожно-транспортные происшествия за 12 марта 2023 года на территории Саратовской области // Официальный сайт Главного управления МВД России по Саратовской области. URL: <https://64.xn--b1aew.xn--p1ai/news/item/36436455/> (дата обращения: 12.03.2023).
21. Крупное ДТП произошло в районе подмосковного города Жуковский // 1 канал. Новости. URL: [https://www.1tv.ru/news/2015-02-10/26867-krupnoe\\_dtp\\_proizoshlo\\_v\\_rayone\\_podmoskovnogo\\_goroda\\_zhukovskiy](https://www.1tv.ru/news/2015-02-10/26867-krupnoe_dtp_proizoshlo_v_rayone_podmoskovnogo_goroda_zhukovskiy) (дата обращения: 12.03.2023).
22. Основы работы в программной среде R при анализе биомедицинских данных / В.Л. Егошин [и др.] // Экология человека. 2018. № 7. С. 55–64.

## References

1. IPCC: AR6 Climate Change 2021: The physical science basis. Geneva, Switzerland. 2021.
2. Lozhkina O.V., Orlovcev S.V., Savinov A.G. Analiz vliyaniya izmeneniya klimata na prirodnye pozhary na primere Rossijskoj Federacii i ryada zarubezhnyh stran // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 2 (63). С. 111–121.
3. Lozhkina O.V., Orlovcev S.V. Analiz vliyaniya izmeneniya klimata na prirodnye pozhary na primere Rossii // Pozharnaya bezopasnost': sovremennye vyzovy. Problemy i puti resheniya: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. SPb., 2022. С. 191–194.
4. Spreading like Wildfire – The rising threat of extraordinary landscape fires // A UNEP rapid response assessment. United Nations Environment Programme (2022). Nairobi, 2022. 126 p.
5. Shcheglova E.G. O vliyanii pogodnyh usloviy na pozhary prirodnyh ob"ektov // Vestnik OGU. 2013. № 1 (150). С. 166–170.
6. Dubrovskaya O.A., Mal'bahov V.M., Shlychkov V.A. Vliyanie massovyh lesnyh pozharov na ciklonicheskie processy v Sibiri // Vychislitel'nye tekhnologii. 2007. Т. 12. № 2. С. 58–66.
7. Lozhkin V.N. Issledovanie vliyaniya torfyanogo pozhara na kompleksnuyu bezopasnost' avtotransportnogo dvizheniya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 2 (62). С. 88–93.
8. Lozhkin V.N. Modelirovanie opasnogo dlya naseleniya vozdejstviya torfyanogo pozhara // Sibirskij pozharno-spatatel'nyj vestnik. 2022. № 3 (26). С. 16–19.
9. Kompleksnaya ocenka i analiz pokazatelej dorozhno-transportnyh proisshествij na primere regionov Chernozem'ya / A.S. Bobeshko [i dr.] // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. № 4. С. 62–68.
10. Nauchno-metodologicheskij podhod k snizheniyu avariynosti na dorogah Rossijskoj Federacii / I.A. Novikov [i dr.] // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2019. № 3. С. 58–65.
11. A study on crashes related to visibility obstruction due to fog and smoke / M. Abdel-Aty [et al.] // Accident analysis and prevention. 2011. № 43. P. 1 730–1 737.
12. Association of reduced visibility with crash outcomes / S. Das [et al.] // IATSS Research. 2018. № 42. P. 143–151.
13. Real-time assessment of fog-related crashes using airport weather data: a feasibility analysis / M.M. Ahmed [et al.] // Accid. Anal. Prev. 2014. № 72. P. 309–317.



14. Wu Y., Abdel-Aty M., Lee J. Crash risk analysis during fog conditions using real-time traffic data // *Accident Analysis & Prevention*. 2018. Vol. 114. P. 4–11.
15. Calsavara F., Kabbach F.I., Larocca A.P.C. Effects of fog in a brazilian road segment analyzed by a driving simulator for sustainable transport: drivers' speed profile under in-vehicle warning systems // *Sustainability*. 2021. Vol. 13: 10501.
16. Lee J., Abdel-Aty M.A. Investigation of low visibility related crashes in Florida // Final report. Contract BDV24-977-31. University of central Florida. 2019. 78 p.
17. Lozhkina O.V. Obzor zarubezhnyh podhodov dlya modelirovaniya rasprostraneniya dyma prirodnyh pozharov i prognozirovaniya ego vozdejstviya na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2020. № 1 (53). S. 100–105.
18. Lozhkina O.V., Onov V.A., Komashinskij V.I. Informacionnyj process monitoring i prognozirovaniya opasnogo vozdejstviya dyma torfyanogo pozhara na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2021. № 3. S. 21–28.
19. Novikov I.A. Metodologiya prognozirovaniya i preduprezhdeniya dorozhno-transportnyh proisshestvij: dis. ... d-ra tekhn. nauk. 2019. Orel: OGU im. I.S. Turgeneva. 305 c.
20. Dorozhno-transportnye proisshestviya za 12 marta 2023 goda na territorii Saratovskoj oblasti // Oficial'nyj sajt Glavnogo upravleniya MVD Rossii po Saratovskoj oblasti. URL: <https://64.xn--b1aew.xn--p1ai/news/item/36436455/> (data obrashcheniya: 12.03.2023).
21. Krupnoe DTP proizoshlo v rajone podmoskovnogo goroda Zhukovskij // 1 kanal. Novosti. URL: [https://www.1tv.ru/news/2015-02-10/26867-krupnoe\\_dtp\\_proizoshlo\\_v\\_rayone\\_podmoskovnogo\\_goroda\\_zhukovskiy](https://www.1tv.ru/news/2015-02-10/26867-krupnoe_dtp_proizoshlo_v_rayone_podmoskovnogo_goroda_zhukovskiy) (data obrashcheniya: 12.03.2023).
22. Osnovy raboty v programmnoj srede R pri analize biomedicinskih dannyh / V.L. Egoshin [i dr.] // *Ekologiya cheloveka*. 2018. № 7. S. 55–64.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 17.05.2023; одобрена после рецензирования: 20.05.2023;  
принята к публикации: 23.05.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 17.05.2023; approved after review: 20.05.2023;  
accepted for publication: 23.05.2023

*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

**Нефедьев Сергей Аркадьевич**, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор военных наук, профессор, e-mail: doktorsan@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)

**Nefed'ev Sergey A.**, professor of the department of fire safety of technological processes and productions of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of military sciences, professor, e-mail: doktorsan@mail.ru

Научная статья

УДК 614.87

## **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

**Баринов Александр Васильевич;**

✉ **Баринов Михаил Федорович.**

**Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика,  
Химки, Россия.**

**Вишняков Александр Викторович.**

**Северо-Западный авиационно-спасательный центр МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**

✉ **barinovmf@rambler.ru**

*Аннотация.* Рассмотрено применение авиации МЧС России из состава авиационно-спасательного центра и проблемные ситуации, возникающие при применении авиации МЧС России в условиях Крайнего Севера. Показана актуальность участия в решении проблем Крайнего Севера непосредственно авиации МЧС России, на которую возлагаются задачи: патрульных и поисково-спасательных работ, выполнение воздушных перевозок, обеспечение управления силами и средствами МЧС России и связи, выполнение специальных видов работ (тушение пожаров с воздуха и доставка пожарных сил и средств к очагам возгорания; аэрофотосъемка и мониторинг местности; ведение различных видов разведки и др.).

Проблемной ситуацией является существенное ограничение возможностей применения авиации МЧС России в условиях Крайнего Севера вследствие недостаточного числа подготовленных аэродромов, отсутствия на аэродромах (вертолетных площадках) оборудования для точного захода на посадку.

На основании практического опыта привлечения авиационной группы МЧС России (вертолет Ка-32А11ВС) приведены специальные рекомендации по обеспечению безопасных условий полета, выполнению правил визуального полета при ограниченной видимости не менее одного километра, классического применения основ навигации применительно к арктическому походу на ледоколе «Капитан Драницын».

*Ключевые слова:* чрезвычайная ситуация, проблемная ситуация, Крайний Север, авиационно-спасательный центр, жизнеобеспечения населения, метеорологическая обстановка, безопасные условия полета

**Для цитирования:** Баринов А.В., Баринов М.Ф., Вишняков А.В. Анализ проблемных ситуаций при применении авиационно-спасательного центра в условиях Крайнего Севера // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 84–93.

Scientific article

## **ANALYSIS OF PROBLEMATIC SITUATIONS WHEN USING AN AVIATION RESCUE CENTER IN THE CONDITIONS OF THE FAR NORTH**

**Barinov Alexander V.;**

✉ **Barinov Mikhail F.**

**Civil defence academy of EMERCOM of Russia, Khimki, Russia.**

**Vishnyakov Alexander V.**

**Northwest aviation rescue center of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia**

✉ **barinovmf@rambler.ru**

*Abstract.* The article considers the use of aviation of EMERCOM of Russia from the aviation rescue center and the problematic situations that arise when using aviation of EMERCOM of Russia in the conditions of the Far North. The relevance of participation in solving the problems of the Far North is shown directly by the aviation of EMERCOM of Russia, which is entrusted with the tasks of patrol and search and rescue operations, air transportation, management of the forces and means of EMERCOM of Russia and communications, performing special types of work (extinguishing fires from the air and delivery of fire forces and means to the fires; aerial photography and terrain monitoring; conducting various types of reconnaissance, etc.).

A problematic situation is a significant limitation of the possibilities of using aviation of EMERCOM of Russia in the conditions of the Far North, due to the insufficient number of prepared airfields, the lack of equipment for precision approach at airfields (helicopter pads). Based on the practical experience of involving the aviation group of EMERCOM of Russia (Ka-32A11BC helicopter), special recommendations are given to ensure safe flight conditions, the implementation of visual flight rules with limited visibility of at least one kilometer, the classical application of the basics of navigation in relation to the Arctic campaign on the icebreaker «Captain Dranitsyn».

*Keywords:* emergency situation, problem situation, Far North, aviation rescue center, life support of the population, meteorological situation, safe flight conditions

**For citation:** Barinov A.V., Barinov M.F., Vishnyakov A.V. Analysis of problematic situations when using an aviation rescue center in the conditions of the far north // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 84–93.

### **Введение**

Одной из основных проблем в сфере социального развития территорий Крайнего Севера, входящих в Арктическую зону Российской Федерации, является обеспечение высокого качества жизни и благосостояния населения, посредством создания системы поддержки государством доставки в населенные пункты Арктики топлива, продовольствия, а также ее развитие в качестве стратегической ресурсной базы [1–5].

Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г. определены основные опасности, вызовы и угрозы, формирующие риски для развития Арктической зоны и обеспечения национальной безопасности, в частности [6–11]:

- отсутствие системы государственной поддержки доставки в населенные пункты, топлива, продовольствия и других жизненно необходимых товаров;
- низкий уровень развития транспортной инфраструктуры, в том числе предназначенной для функционирования малой авиации и осуществления круглогодичных авиаперевозок;
- отставание сроков развития инфраструктуры Северного морского пути, строительства судов ледокольного, аварийно-спасательного и вспомогательного флотов от сроков реализации экономических проектов в Арктической зоне.

### Теоретическое обсуждение проблемной ситуации

Так, одним из направлений реализации Стратегии развития Арктической зоны в отдельных муниципальных образованиях Республики Саха (Якутия) предусматривается решение проблемы по доставке в населенные пункты, расположенные в отдаленных местностях, топлива, продовольствия и других жизненно необходимых товаров на основе создания сети торгово-логистических центров, при этом решение проблем по жизнеобеспечению населения способствует организация первоочередного жизнеобеспечения населения в чрезвычайных ситуациях (ЧС), а также создание, хранение, использование и восполнение резервов материальных ресурсов для ликвидации ЧС [11, 12]. В решении данных проблем может принимать участие авиация МЧС России [13], на которую возлагаются задачи:

1. Выполнение патрульных и поисково-спасательных работ:
  - поиск, обнаружение и эвакуация пострадавших из зон ЧС;
  - наведение наземных поисково-спасательных сил в зонах ЧС на объекты поиска;
  - десантирование спасательных групп парашютным, беспарашютным (с помощью спусковых устройств) и посадочным способом.
2. Выполнение воздушных перевозок:
  - оперативная доставка спасателей, специалистов, экспертов, врачей, техники, оборудования, крупногабаритных и специальных грузов, гуманитарной помощи в зоны ЧС;
  - эвакуация пострадавших из зон ЧС;
  - выполнение полетов по распоряжениям Правительства России (перевозка правительственных делегаций и руководства МЧС России);
  - выполнение коммерческих пассажирских и грузовых перевозок по заявкам различных ведомств и организаций.
3. Обеспечение управления и связи:
  - управление силами и средствами МЧС России и единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) (а в угрожаемый период и военное время – силами и средствами гражданской обороны) с воздушных пунктов управления;
  - ретрансляция связи между наземными пунктами управления и силами МЧС России и РСЧС.
4. Выполнение специальных видов работ:
  - тушение пожаров с воздуха и доставка пожарных сил и средств к очагам возгорания;
  - аэрофотосъемка и мониторинг местности;
  - ведение воздушной, инженерной, радиационной, химической, экологической, метеорологической и пожарной разведки;
  - обработка объектов химическими, биологическими и специальными препаратами;
  - монтажно-демонтажные (крановые) работы при расчистке завалов и разрушений;
  - выполнение других специальных работ.

Данные задачи решаются подразделениями авиации МЧС России как самостоятельно, так и совместно с авиационными силами других министерств и ведомств, краев и областей Российской Федерации, привлекаемыми для выполнения работ по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций по планам взаимодействия или на договорной основе [14, 15].

В настоящее время штатный состав авиации МЧС России включает в себя авиационно-спасательные центры (АСЦ) МЧС России, выполняющие вышеизложенные задачи, при этом возможности по применению авиации МЧС России в Арктической зоне Российской Федерации существенно ограничены вследствие недостаточного числа подготовленных аэродромов, отсутствия на аэродромах (вертолетных площадках) оборудования для точного захода на посадку. Авиация МЧС России в Арктической зоне Российской Федерации не базируется.

## Обсуждение и практические рекомендации по решению проблемной ситуации

Вместе с тем необходимо отметить, что авиация МЧС России применялась в августе 2015 г. на основании распоряжения заместителя Министра МЧС России с целью выполнения ледовой разведки и специальных авиационных работ в Северных полярных широтах по снятию личного состава и оборудования с дрейфующей станции «Северный Полюс-2015» с привлечением авиационной группы МЧС России (вертолет Ка-32А11ВС [16]), укомплектованной летным и инженерно-техническим составом от авиационных формирований Центрального и Северо-Западного региональных центров (СЗРЦ). Место базирования вертолета – палуба ледокола «Капитан Драницын».

Планирование предстоящих вылетов, заявки на использование воздушного пространства в ходе планируемых полетов, а также донесения о результатах выполнения специальных авиационных работ отправлялись через командно-диспетчерский отдел (оперативного дежурного) АСЦ СЗРЦ в Управление авиации МЧС России. Заявки на вылет обрабатывались установленным порядком дежурным диспетчером АСЦ (СЗРЦ МЧС России).

Подготовка к предстоящим полетам для специальных авиационных работ выполнялась в объеме требований, установленными действующими Федеральными авиационными правилами производства полетов государственной авиации (ФАППП ГА) [17], с учетом особенностей организации полетов над морем и в полярных районах.

Большое значение имеет анализ метеорологической обстановки, по результатам которой следует учитывать наиболее характерные погодные явления, ограничивающие, а иногда исключаяющие возможность выполнения полетов в Арктике – частые и продолжительные туманы, образующиеся над ледяным покровом даже в ясную погоду. Это происходит потому, что медленное таяние льда в это время года охлаждает более теплый и влажный воздух, доводя его до насыщения, что в конечном итоге и формирует площадные туманы высотой 150–300 м над уровнем Ледовитого океана. Видимость в этом тумане может быть от 200 до 1 000 м. Резкие прояснения с видимостью до 10 км (на участках меньшей влажности и большей температуры) часто чередуются переходами в следующую полосу тумана, протяженностью от нескольких десятков до сотен километров. В тумане возможно обледенение слабой или умеренной интенсивности, поэтому полет следует выполнять над его верхней кромкой.

Температура воздуха у поверхности Ледовитого океана в летом (август) близка к температуре таяния льда и составляет около 0 °С.

Сверху льды в период таяния представляют собой неоднородную и достаточно контрастную структуру из-за чередующихся проталин в виде водяных луж и белых островов льда со снегом. Поэтому при полете над верхней кромкой тумана подстилающая поверхность под собой, как правило, просматривается. Так же следует учитывать то, что при одинаковых условиях горизонтальная видимость в тумане против солнца всегда значительно хуже, чем в направлении от солнца, так как возникает подсвечивающий экранирующий эффект.

В целях обеспечения безопасных условий полета [18] снижение и заход на площадку следует выполнять по правилам визуального полета при ограниченной видимости не менее 1 км.

Поиск площадки целесообразно выполнять на истинной высоте не ниже 60 м и скорости полета 80–100 км/ч. Площадка должна обозначаться дымовыми шашками, а в условиях ограниченной видимости дополнительно фальшфейерами (факелами красного или оранжевого цвета).

Необходимо также знать и учитывать гидрологию Северного Ледовитого океана, это океанические течения, определяющие направление дрейфа льда [5]. Научными наблюдениями установлено, что смещение льда на Северном полюсе происходит в западном, юго-западном направлении. Поэтому при полете на дрейфующую станцию принимающей стороне (руководителю) необходимо передавать координаты, уточненные непосредственно перед

вылетом и измеренные в центре обозначенной площадки. В свою очередь, экипажу также следует учитывать юго-западный дрейф, который за час полета может составить 300–400 м. Таким образом, при подлете к заданным координатам северным курсом поиск площадки в условиях ограниченной видимости следует выполнять преимущественно левыми отворотами.

В условиях таяния льда при посадке на площадку снежная пыль поднимается незначительно и горизонтальную видимость не ухудшает, а толщина льда на этих широтах обеспечивает безопасную стоянку вертолета.

В мореплавании и полетах воздушных судов наиглавнейшей задачей, решением которой достигается конечная цель любой экспедиции, во все времена была и остается навигация. В условиях полетов над безориентирной ледовой поверхностью Арктики единственным способом навигации, обеспечивающим безопасность полетов, является радиотехнический (в том числе с помощью радиотехнических средств спутниковой навигации).

Экипаж должен владеть навыками эксплуатации всего комплекса бортового навигационного оборудования, в состав которого на вертолете Ка-32А11ВС [16] входят: курсовая система «Гребень-2Б»; автоматический радиокompас АРК-19; спутниковая навигационная система GNS-530А (работает в системе GPS); спутниковая навигационная система БМС (работает в системе GPS и ГЛОНАСС); радиопеленгатор RT-600; метеорадар ПРИМУС-701А с функцией радиомаяка.

Кроме этого, могут применяться вспомогательные (носимые) средства навигации – портативные навигаторы на базе платформ Garmin, Android и Apple; хронометры (точные наручные часы) с суточным (24-часовым) отображением времени; астрономический авиационный секстант и специальные таблицы положения светил.

Арктика значительно отличается от средних широт прежде всего в магнитном отношении из-за большого угла схождения меридианов, резким изменением горизонтальной составляющей силы земного магнетизма и, как следствие, магнитного склонения, исключающего нормальное использование магнитного компаса.

Рассмотрим классическое изложение основ навигации применительно к арктическому походу на ледоколе «Капитан Драницын».

Полеты в высоких широтах выполняются по ортодромии – кратчайшему расстоянию от одного пункта к другому с условным курсом, проложенным, как правило, от северного направления истинного меридиана.

В свою очередь, курсовая система Гребень-2Б, установленная на вертолете Ка-32А11ВС, работает в режимах магнитной коррекции (МК), гиropolукомпаса (ГПК) и задатчика курса (ЗК), астрокоррекция (АК) не задействована. Выше показано, что режим МК для высокоширотных условий навигации не применим, поэтому для установки режима ГПК вместо МК используется режим ЗК.

Таким образом, для выполнения полетов по ортодромии используется режим ГПК с начальной установкой условного курса в режиме ЗК.

Рекомендуется в целях обеспечения безопасности полетов [18], чтобы после взлета вертолета ледокол шел строго по той же вертолетной ортодромии (то есть по его условному «следу»), что значительно упрощает поисковые работы в случае вынужденной посадки на едином пути следования.

Вертолет Ка-32А11ВС оборудован радиопеленгатором RT-600 (более совершенным, чем ультракоротковолновый автоматический радиокompас (АРК-УД на Ми-8), предназначенным для пеленгации объектов, работающих в аварийных диапазонах морских и авиационных частот, а также COSPAS-SARSAT. Метод определения пеленга заключается в доплеровском принципе.

В полетах над Арктикой, как правило, единственным «аэродромом» и радионавигационной точкой во льдах, на которую вертолет может возвратиться, является

ледокол. В случае отказа основных бортовых радиотехнических средств навигации вертолета и (или) приводной радиостанции корабля, отсутствия сигналов GPS и ГЛОНАСС возможно использование радиопеленгатора RT-600.

Незаменимость этого прибора заключается в том, что он может пеленговать, то есть определять направление на передающую радиостанцию в настраиваемом авиационном диапазоне 118–123 МГц. Таким образом, при выборе рабочей частоты из этого диапазона для радиосвязи (а не только аварийной 121,5 МГц), экипаж вертолета получает дополнительное радиотехническое средство, способное вывести вертолет на дрейфующую станцию или корабль с дальности от 75 км. Наведение выполняется по курсовому углу радиостанции, который отображается на электронном лимбе RT-600.

Возникает вопрос, как действовать при отказе всех радиотехнических средств и спутниковой навигации, когда других способов вывода вертолета на ледокол (дрейфующую станцию) нет, а ведение визуальной ориентировки над ледовой поверхностью у Северного полюса не представляется возможным.

В настоящее время порядок действий при потере ориентировки, предусмотренный Федеральными авиационными правилами производства полетов государственной авиации (ФАППП ГА), не в полной мере отвечает особым условиям навигации в высоких широтах. Это обусловлено, прежде всего, тем, что запас топлива на вертолете не всегда позволяет достигать ближайших материковых или островных аэродромов, а опасные явления погоды зачастую делают полет невозможным. Поэтому единственным, кто может первым прийти на помощь экипажу, является спасательная команда на ледоколе, с которого выполнялся взлет вертолета.

Ориентировку следует считать потерянной, когда экипажу из-за отказа радиотехнических средств и радионавигационных систем не удастся определить точное направление полета на ледокол (спутниковая навигация не работает, нет радиокомпаса (АРК) и УКВ-пеленгации), а произвольное продолжение полета еще больше усложняет определение места.

В этом случае экипажу рекомендуется предпринять следующие действия:

- исключить полет с произвольными курсами, чтобы не допустить уход от общей ортодромии с ледоколом;
- для экономии топлива принять решение на посадку на подстилающую ледовую поверхность, включить автоматический радиомаяк АРМ-406П;
- сообщить на ледокол по радио (даже если на большой дальности ледокол не прослушивается) о вынужденной посадке, включении АРМ на аварийных частотах, о своем ориентировочном удалении и координаты (по последним показаниям на момент отказа радиотехнических систем (РТС) и радионавигационных систем (РНС));
- установить связь на КВ частоте 1139 КГц с Мурманский районный центр по организации воздушного движения «Мурманск океанический», сообщить о вынужденной посадке по причине отказа РТС и РНС, о включении радиомаяка на аварийных частотах, свои координаты;
- перед посадкой подобрать ледовую площадку без разломов, при наличии проталин садиться в центре ледяного поля, перед выключением двигателей осмотреть площадку, в случае необходимости выполнить подбор другой площадки;
- после выключения вынести из вертолета неприкосновенные запасы, носимые и аварийные средства спасения и связи, подготовить плавсредства и светосигнальные огни, развернуть лагерь;
- установить спутниковую связь с ледоколом, запросить подтверждение пеленгования местоположения экипажа вертолета с борта корабля по сигналам АРМ;
- после установления визуального контакта с ледоколом погрузить оборудование в вертолет, выключить АРМ, выполнить запуск, взлет и полет на ледокол.

После посадки вертолета на корабельной палубе капитану ледокола сообщить в центр поиска и спасания о завершении поисковых работ.



## Выводы

Выполнение специальных авиационных работ в высокоширотных экспедициях требует прохождения специальной программы подготовки, реализация которой возможна только при проведении целевых сборов для обучения летного состава технике пилотирования и навигации вне видимости береговой черты, с отработкой взлетов и посадок на палубу корабля (ледокола).

С учетом экономических интересов государства в освоении северных территорий и Северного морского пути, а также перспективного развития авиации МЧС России следует считать целесообразным рассмотрение вопроса о формировании подразделения (авиационного звена) арктической авиации МЧС России, с возможным местом постоянного базирования в Мурманской обл., являющейся пристанью атомного ледокольного флота страны.

## Список источников

1. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года: Указ Президента Рос. Федерации от 5 марта 2020 г. № 164. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Седнев В.А. Научно-методический подход обоснования требований к системам электроснабжения автономных полевых лагерей войсковых формирований при размещении в труднодоступных районах Крайнего Севера // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 3 (47). С. 19–28.
3. Седнев В.А. Инженерно-технические мероприятия по подготовке электроэнергетических сооружений и систем к устойчивому функционированию // Промышленная энергетика. 2019. № 10. С. 11–18.
4. Брехунцов А.М., Петров Ю.В., Прыкова О.А. Экологические аспекты освоения природно-ресурсного потенциала российской Арктики // Арктика: экология и экономика. 2020. № 3 (39). С. 57–64.
5. Махутов Н.А., Лебедев М.П. Особенности возникновения чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне России и пути их парирования на основе концепции риска // Арктика: экология и экономика. 2014. № 1 (13). С. 10–29.
6. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: Указ Президента Рос. Федерации от 26 окт. 2020 г. № 645. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
7. Седнев В.А. Применение энергии взрыва для решения экологических проблем районов Крайнего Севера. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2013. № 2. С. 52–62.
8. Седнев В.А. Технология проведения взрывных работ по фрагментации бочкотары и крупных объектов техники в труднодоступных районах Крайнего Севера // Арктика: экология и экономика. 2013. № 4 (12). С. 96–99.
9. Седнев В.А., Онов В.А. Методы построения обобщенных критериев эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 2. С. 46–51.
10. Торопов Е.Е., Шабалин А.А., Мохов О.А. Ликвидация разливов нефти подо льдом в удаленных арктических акваториях // Арктика: экология и экономика. 2018. № 4 (32). С. 31–38.
11. Седнев В.А. Основы подготовки транспортных сооружений к безопасному и устойчивому функционированию в чрезвычайных ситуациях // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2018. № 1. С. 15–24.
12. Седнев В.А. Модели обоснования и оценки эффективности комплекса средств механизации работ в труднодоступных районах Арктического региона // Военная безопасность России: взгляд в будущее: сб.: в 3-х т. М., 2021. Т. 2. С. 153–161.
13. Об утверждении Методических рекомендаций по применению авиации и авиационно-спасательных технологий в Министерстве Российской Федерации по делам гражданской

обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: приказ МЧС России от 1 окт. 2018 г. № 418. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

14. Седнев В.А., Онов В.А. Критерии эффективности задач инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 3. С. 53–58.

15. Седнев В.А. Оценка эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2020. № 6. С. 107–126.

16. Руководство по летной эксплуатации Ка-32Ф11ВС: учеб. пособие. СПб., 2013. 136 с.

17. Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации (зарег. в Минюсте России 31 авг. 2009 г. № 14645). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

18. Об утверждении требований к подготовке авиационного персонала органов и служб единой системы авиационно-космического поиска и спасания в Российской Федерации, а также авиационных сил поиска и спасания к проведению поисково-спасательных операций (работ), а также экипажей воздушных судов к выживанию в условиях автономного существования, состава наземных поисково-спасательных команд и спасательных парашютно-десантных групп, перечня оборудования, аварийно-спасательного имущества и снаряжения для оснащения поисково-спасательных воздушных судов, наземных поисково-спасательных команд и спасательных парашютно-десантных групп, требования к оснащению помещений на аэродроме для экипажей поисково-спасательных воздушных судов, наземных поисково-спасательных команд и спасательных парашютно-десантных групп, методика выполнения радиотехнического и визуального поиска воздушных судов, терпящих или потерпевших бедствие, сигналы, применяемые при проведении поисково-спасательных операций (работ), сроки проведения поиска воздушных судов, терпящих или потерпевших бедствие, их пассажиров и экипажей с использованием радиотехнических средств: приказ Минтранса Российской Федерации от 3 июня 2014 г. № 148. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

## References

1. Osnovy gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v Arktike na period do 2035 goda: Ukaz Prezidenta Ros. Federacii ot 5 marta 2020 g. № 164. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

2. Sednev V.A. Nauchno-metodicheskij podhod obosnovaniya trebovanij k sistemam elektrosnabzheniya avtonomnyh polevyh lagerej vojskovykh formirovanij pri razmeshchenii v trudnodostupnyh rajonah Krajnego Severa // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2018. № 3 (47). S. 19–28.

3. Sednev V.A. Inzhenerno-tehnicheskie meropriyatiya po podgotovke elektroenergeticheskikh sooruzhenij i sistem k ustojchivomu funkcionirovaniyu // Promyshlennaya energetika. 2019. № 10. S. 11–18.

4. Brekhuncov A.M., Petrov Yu.V., Prykova O.A. Ekologicheskie aspekty osvoeniya prirodno-resursnogo potenciala rossijskoj Arktiki // Arktika: ekologiya i ekonomika. 2020. № 3 (39). S. 57–64.

5. Mahutov N.A., Lebedev M.P. Osobennosti vzniknoveniya chrezvychajnyh situacij v Arkticheskoj zone Rossii i puti ih parirovaniya na osnove koncepcii riska // Arktika: ekologiya i ekonomika. 2014. № 1 (13). S. 10–29.

6. Strategiya razvitiya Arkticheskoj zony Rossijskoj Federacii i obespecheniya nacional'noj bezopasnosti na period do 2035 goda: Ukaz Prezidenta Ros. Federacii ot 26 okt. 2020 g. № 645. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».

7. Sednev V.A. Primenenie energii vzryva dlya resheniya ekologicheskikh problem rajonov Krajnego Severa. Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. 2013. № 2. S. 52–62.

8. Sednev V.A. Tekhnologiya provedeniya vzryvnyh rabot po fragmentacii bochkotary i krupnyh ob"ektov tekhniki v trudnodostupnyh rajonah Krajnego Severa // *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2013. № 4 (12). S. 96–99.
9. Sednev V.A., Onov V.A. Metody postroeniya obobshchennyh kriteriev effektivnosti inzhenerного obespecheniya dejstvij spasatel'nyh formirovanij // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2020. № 2. S. 46–51.
10. Toropov E.E., Shabalin A.A., Mohov O.A. Likvidaciya razlivov nefti podo l'dom v udalennyh arkticheskikh akvatoriayah // *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2018. № 4 (32). S. 31–38.
11. Sednev V.A. Osnovy podgotovki transportnyh sooruzhenij k bezopasnomu i ustojchivomu funkcionirovaniyu v chrezvychajnyh situacijah // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2018. № 1. S. 15–24.
12. Sednev V.A. Modeli obosnovaniya i ocenki effektivnosti kompleksa sredstv mekhanizacii rabot v trudnodostupnyh rajonah Arkticheskogo regiona // *Voennaya bezopasnost' Rossii: vzglyad v budushchee: sb.: v 3-h t. M., 2021. T. 2. S. 153–161.*
13. Ob utverzhdenii Metodicheskikh rekomendacij po primeneniyu aviatsii i aviacionno-spasatel'nyh tekhnologij v Ministerstve Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij: prikaz MCHS Rossii ot 1 okt. 2018 g. № 418. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
14. Sednev V.A., Onov V.A. Kriterii effektivnosti zadach inzhenerного obespecheniya dejstvij spasatel'nyh formirovanij // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2020. № 3. S. 53–58.
15. Sednev V.A. Ocenka effektivnosti inzhenerного obespecheniya dejstvij spasatel'nyh formirovanij // *Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij*. 2020. № 6. S. 107–126.
16. Rukovodstvo po letnoj ekspluatatsii Ka-32F11VS: ucheb. posobie. SPb., 2013. 136 s.
17. Podgotovka i vypolnenie poletov v grazhdanskoj aviatsii Rossijskoj Federacii (zareg. v Minyuste Rossii 31 avg. 2009 g. № 14645). Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
18. Ob utverzhdenii trebovanij k podgotovke aviacionnogo personala organov i sluzhb edinoj sistemy aviacionno-kosmicheskogo poiska i spasaniya v Rossijskoj Federacii, a takzhe aviacionnyh sil poiska i spasaniya k provedeniyu poiskovo-spasatel'nyh operacij (rabot), a takzhe ekipazhej vozdushnyh sudov k vyzhivaniyu v usloviyah avtonomnogo sushchestvovaniya, sostava nazemnyh poiskovo-spasatel'nyh komand i spasatel'nyh parashyutno-desantnyh grupp, perechnya oborudovaniya, avarijno-spasatel'nogo imushchestva i snaryazheniya dlya osnashcheniya poiskovo-spasatel'nyh vozdushnyh sudov, nazemnyh poiskovo-spasatel'nyh komand i spasatel'nyh parashyutno-desantnyh grupp, trebovaniya k osnashcheniyu pomeshchenij na aerodrome dlya ekipazhej poiskovo-spasatel'nyh vozdushnyh sudov, nazemnyh poiskovo-spasatel'nyh komand i spasatel'nyh parashyutno-desantnyh grupp, metodika vypolneniya radiotekhnicheskogo i vizual'nogo poiska vozdushnyh sudov, terpyashchih ili poterpevshih bedstvie, signaly, primenyaemye pri provedenii poiskovo-spasatel'nyh operacij (rabot), sroki provedeniya poiska vozdushnyh sudov, terpyashchih ili poterpevshih bedstvie, ih passazhirov i ekipazhej s ispol'zovaniem radiotekhnicheskikh sredstv: prikaz Mintransa Rossijskoj Federacii ot 3 iyunya 2014 g. № 148. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 13.03.2023; одобрена после рецензирования: 10.05.2023;  
принята к публикации: 14.06.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 13.03.2023; approved after review: 10.05.2023;  
accepted for publication: 14.06.2023

*Информация об авторах:*

**Баринов Александр Васильевич**, профессор кафедры инженерной защиты населения и территорий факультета руководящего состава Академии гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика (141435, Московская обл., г.о. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А), доктор технических наук, профессор, e-mail: Barinov.academy@yandex.ru

**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

**Вишняков Александр Викторович**, заместитель начальника штаба Северо-Западного авиационно-спасательного центра МЧС России (196210, Санкт-Петербург, Стартовая ул., д. 17, стр. 2), e-mail: vishnjakov2408@mail.ru

*Information about the authors:*

**Barinov Alexander V.**, professor of the department of engineering protection of the population and territories of the faculty of management of the Academy of civil protection of EMERCOM of Russia named after lieutenant general D.I. Mikhailik (141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya str., 1A), doctor of technical sciences, professor, e-mail: barinov.academy@yandex.ru

**Barinov Mikhail F.**, head of the department of emergency rescue operations of the command and engineering faculty of the Academy of civil protection of EMERCOM of Russia named after lieutenant general D.I. Mikhailik (141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya str., 1A), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: barinovmf@rambler.ru

**Vishnyakov Alexander V.**, deputy chief of staff of the Northwest aviation rescue center of EMERCOM of Russia (196210, Saint-Petersburg, Startovaya str., 17, p. 2), e-mail: vishnjakov2408@mail.ru

Научная статья

УДК 005.334

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИИ**

✉Белоуско Юрий Александрович.

Главное управление МЧС России по Республике Мордовия, г.о. Саранск, Республика Мордовия

✉belousko.y@inbox.ru

*Аннотация.* В статье приводится оценка состояния защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера Республики Мордовии на основе сравнительного анализа зафиксированных происшествий в период с 2020 по 2021 г. Дается подробная информация: о чрезвычайных ситуациях, результатах прохождения паводкоопасного периода, пожароопасного сезона, оценке инфекционных заболеваний (в том числе коронавирусной инфекции COVID-19). Определяется уровень возможных угроз для жизнедеятельности населения, обусловленных техногенными и природными чрезвычайными ситуациями, пожарами, событиями, случившимися на водных объектах.

*Ключевые слова:* оценка состояния защиты, чрезвычайная ситуация, уровень угроз

**Для цитирования:** Белоуско Ю.А. Оценка состояния защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера Республики Мордовии // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 94–102.

Scientific article

## **ASSESSMENT OF THE STATE OF PROTECTION OF POPULATION AND TERRITORIES FROM NATURAL AND MAN-MADE EMERGENCIES IN THE REPUBLIC OF MORDOVIA**

✉Belousko Yuri A.

Deputy head of EMERCOM of Russia in the Republic of Mordovia, Saransk, Republic of Mordovia

✉belousko.y@inbox.ru

*Abstract.* The article provides an assessment of the state of protection of population and territories from emergencies of natural and man-made character in the Republic of Mordovia based on a comparative analysis of recorded incidents in the period from 2020 to 2021. Detailed information is given: on emergencies, the results of the passage of the flooding period, the fire season, the assessment of infectious diseases (including COVID-19 coronavirus infection). The level of possible threats to the life of the population caused by man-made and natural emergencies, fires, events that occurred on water bodies is determined.

*Keywords:* assessment of the state of protection, emergency situation, threat level

**For citation:** Belousko Yu.A. Assessment of the state of protection of population and territories from natural and man-made emergencies in the Republic of Mordovia // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 94–102.

## Введение

По мере развития человечества, на протяжении всей истории мы видим стремительное прогрессивное развитие общества. Причем развитие касается всех уровней и сфер общества (интеллектуальное развитие, появление новых технологий, технических возможностей и достижений, освоение новых знаний и умений).

Здесь важно отметить, что стремительное развитие общества, существенно упрощая жизнь людей, создает дополнительные риски, тем самым снижая уровень защищенности населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера.

В XXI в. развитие общества достигло небывалых высот: появились новые технологии, производства, научные достижения, открытия, в связи с этим выросла опасность возникновения пожаров по вине деятельности людей, причем в геометрической прогрессии.

Таким образом, оценка состояния защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера является важной и неотъемлемой задачей для прогнозирования и снижения ЧС.

По результатам проведенного литературного обзора, в части защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера в Республике Мордовии актуальная информация в достаточной степени отсутствует.

Целью данной статьи является анализ и характеристика состояния защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера в Республике Мордовии.

В Республике Мордовии за 2021 г. зафиксированы две ЧС: одна ЧС – природного характера муниципального уровня и одна ЧС – природного характера межрегионального уровня. ЧС техногенного и биолого-социального характера не происходило.

Зафиксирована одна ЧС техногенного характера локального уровня в 2022 г. В сравнении с 2020 г. число ЧС выросло на одну.

В табл. 1–3 показаны обобщенные данные о ЧС, случившихся в 2021 г. в Республике Мордовии, их сходства и отличия, нанесенный материальный убыток [1].

Таблица 1

### Сведения о ЧС, произошедших в 2021 г.

Федеральный округ, субъект Российской Федерации	Техногенные ЧС, ед.	Природные ЧС, ед.	Общее количество ЧС, ед.	Количество, чел.			Материальный ущерб, млн руб.
				погибло	пострадало	спасено	
Приволжский федеральный округ, Республика Мордовия	–	2	2	–	–	–	97924,74

Таблица 2

### Динамика изменения величины материального ущерба, причиненного при ЧС в 2020 и 2021 гг., по видам ЧС

Вид ЧС	Количество, ед.		Прирост (↑) Снижение (↓) %	Материальный ущерб (млн руб.)		Прирост (↑) Снижение (↓) %
	2020 г.	2021 г.		2020 г.	2021 г.	
Техногенные ЧС	1	–	100 (↓)	–	–	–
Природные ЧС	–	2	100 (↑)	–	97924,74	100 (↑)
Итого:	1	2	100 (↑)	–	97924,74	100 (↑)

**Распределение ЧС в 2020 и 2021 гг. по характеру и материальному ущербу**

Масштабность ЧС	Структура показателей, %		Прирост (↑) Снижение (↓), %	Материальный ущерб (млн руб.)		Прирост (↑) Снижение (↓), %
	2020 г.	2021 г.		2020 г.	2021 г.	
Локальные	1	–	100 (↓)	–	–	–
Муниципальные	–	1	100 (↑)	–	10369	100 (↑)
Межмуниципальные	–	–	–	–	–	–
Региональные	–	–	–	–	–	–
Межрегиональные	–	1	100 (↑)	–	87555,74	100 (↑)
Федеральные	–	–	–	–	–	–
Итого:	1	2	100 (↑)	–	97924,74	100 (↑)

**Информация о ЧС в Республике Мордовии**

3 августа 2021 г. 11 ч 20 мин – Темниковский район, ФГБУ «Объединенная дирекция Мордовского государственного природного заповедника «Заповедная Мордовия» им. П.Г. Смидовича и национальный парк Смольный», Ельниковский район ГКУ РМ «Краснослободское территориальное лесничество», Пурдошанское участковое лесничество – пожаром охвачено 13633,6 га леса, включен режим «ЧС», для того чтобы оградить жилые пункты, которые близко расположены к заповеднику [2, с. 11–12].

5 августа 2021 г. – территория Темниковского муниципального района Республики Мордовии.

21 августа 2021 г. – территория Новоямского сельского поселения Ельниковского муниципального района Республики Мордовии.

23 августа 2021 г. в Республике Мордовии введен режим «ЧС в лесах регионального характера» (Указ Главы Республики Мордовия от 23 августа 2021 г. № 240-УГ), подано обращение на адрес руководителя Федерального агентства лесного хозяйства о рассмотрении вопроса введения режима «ЧС в лесах межрегионального характера».

Пострадавших и погибших не было. К ликвидации ЧС привлеклись: личного состава – 1 414 чел., 264 единиц техники.

Причиной возникновения пожара явился разряд молнии (сухая гроза). Дата ликвидации ЧС – 22 сентября 2021 г. в 14 ч 00 мин [3, с. 37].

**Результаты прохождения паводкоопасного периода в Республике Мордовии**

Были созданы профилактические меры, для того чтобы снизить опасность появления ЧС перед паводковым периодом. Для ремонта гидротехнических сооружений (ГТС) прилагались большие старания и силы. В 2020 г. был осуществлен ремонт шести ГТС на общую сумму 42,4 млн руб. В процессе поддержки безопасности ГТС Главным управлением были проведены мероприятия, направленные на раздачу заключений о готовности к завершению ЧС и защите населения и территорий, на случай аварии на ГТС было дано три заключения. Также были совершены берегоукрепительные работы 11 участков, из них 3 – в Ардатовском муниципальном районе (МР) (р. Алатырь), 6 – в Рузаевском МР (р. Инсар), 1 – в Теньгушевском МР – (р. Мокша) и 1 – Темниковском МР (р. Мокша) расстоянием 2,81 км [4, с. 807–808]. Кроме того, были расчищены русла рек на десяти местах: по одному в Краснослободском МР (р. Мокша) и Теньгушевском МР (р. Мокша), 8 – в Рузаевском МР (р. Инсар) общим расстоянием 5,85 км. Были проведены ремонтные работы 144 участков по очистке водопропускных

коммуникаций. В 2020 г. было отведено 74,597 млн руб. для осуществления берегоукрепления, расчистки русел рек, ремонта ГТС и очистки водопропускных коммуникаций.

Создан проект, направленный на ослабление рисков и реагированию на ЧС в паводкоопасное время в Республике Мордовии в 2021 г.

В Республике Мордовии с целью исключения и недопущения ЧС, спровоцированных паводком, разработан резерв материально-технических и финансовых ресурсов. На 1 января 2021 г. в Республике Мордовии насчитывалось 171 ГТС, в их числе 15 ГТС бесхозных, это составляет 8,8 % от общего числа [5, с. 129].

Решением Комиссии по предупреждению и ликвидации ЧС и обеспечению пожарной безопасности (КЧС и ОПБ) Правительства Республики Мордовия все бесхозные ГТС во время паводка временно присоединяются к администрациям муниципальных районов.

Сотрудники государственной инспекции по маломерным судам Главного управления вместе с сотрудниками Государственной противопожарной службы районов и представителями администраций районов посещают людей, которые могут оказаться на территории вероятного затопления, раздают им памятки о действиях в случаях возникновения паводков. Сотрудниками Главного управления и сотрудниками отдела водных ресурсов по Республике Мордовии, министерства лесного, охотничьего хозяйства и продовольствия, Волжско-Окского управления Ростехнадзора согласно порядку общего контроля пригодности ГТС к пропуску весеннего паводка 2021 г. в пределах сельских поселений Республики Мордовии осуществлялись исследования технического состояния 24 ГТС республики. В итоге исследований были созданы соответствующие акты. Оценка паводковой ситуации на реках Республики Мордовии происходила на восьми постоянных и одном временном гидропосте. Также от единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) во время паводка было размещено 35 наблюдательных постов. Было осуществлено сотрудничество с организациями и ведомствами в целях защиты населения от угроз во время паводка [6, с. 33].

Согласно постановлениям были приняты соглашения между администрациями муниципальных районов и руководителями оперативных служб, церковных приходов, мечетей о взаимодействии в решении вопросов по использованию подвижных средств с сигнальными устройствами громкоговорящей связи, колоколов монастырей, храмов, церквей и устройств громкоговорящей связи мечетей для оповещения населения. В утверждениях приняты пути передвижения подвижных средств, число выделяемых автомобилей, образцы текстовых сообщений. Было осуществлено посещение людей, которые оказались на территории вероятного затопления. Для них был проведен инструктаж и предоставлены памятки на случай затопления. В Республике Мордовии сбросы воды не осуществляются из-за отсутствия ГТС, которые вызывают угрозы.

В Республике Мордовии режим ЧС на период прохождения паводка 2021 г. не вводился. Сил и средств РСЧС, а также МЧС России достаточно, чтобы осуществить профилактические мероприятия и мероприятия, направленные на уменьшение опасностей и реагирование на ЧС во время течения весеннего половодья [7, с. 503–504]. В Республике Мордовии на территорию действия паводка не попали железнодорожные дороги, мосты, скотомогильники, склады с ядохимикатами, накопители промышленных отходов, социально значимые объекты, объекты экономики, водозаборы из подземных источников. Во время паводка были затоплены 12 низководных мостов. Жизнедеятельность населения не пострадала.

В Республике Мордовии затоплений населенных пунктов, объектов экономики, социально значимых объектов не происходило.



## Результаты прохождения пожароопасного сезона

В ходе проведенной работы по организации информационного взаимодействия сил и средств в рамках РСЧС при борьбе с лесными пожарами в 2021 г.:

- продлены межведомственные Соглашения о сотрудничестве в вопросах защиты лесов от пожаров на 2021 г., заключенные Министерством лесного, охотничьего хозяйства и природопользования Республики Мордовии с Главным управлением МЧС России по Республике Мордовия, Управлением Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Республике Мордовия, Министерством жилищно-коммунального хозяйства, энергетики и гражданской защиты населения Республики Мордовия, Федеральным государственным бюджетным учреждением «Заповедная Мордовия»;

- продлены Соглашения о сотрудничестве по тушению лесных пожаров на приграничных территориях с органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченными в области лесных отношений, расположенными на сопредельных с Республикой Мордовией территориях (Чувашская Республика, Ульяновская обл., Нижегородская обл., Рязанская обл., Пензенская обл.) [8, с. 220–221].

В процессе подготовки к прохождению пожароопасного сезона 2021 г. постановлением Правительства Республики Мордовия от 26 марта 2021 г. № 116 «О подготовке к весенне-летнему пожароопасному сезону 2021 года» утверждены перечни населенных пунктов и объектов, подверженных угрозе лесных пожаров.

В местах высокой опасности существуют 47 объектов и 98 населенных пунктов. В населенных пунктах осуществлялись проверки, в итоге 92 населенных пункта считаются завершенными, у четырех пунктов обнаружены нарушения. До начала пожароопасного сезона данные нарушения ликвидированы в полной мере.

На 47 объектах, которые находятся на территории высокой опасности, тоже осуществлены надзорно-профилактические мероприятия. Каких-либо нарушений в процессе проверок обнаружено не было [9, с. 35]. В Республике Мордовии в общей сложности в пожароопасное время 2021 г. зафиксированы и ликвидированы 27 очагов природных пожаров на площади 12 831,82 га, из них на землях Минлесхоза Республики Мордовии – 22 очага на общей площади 734,69 га, на землях особо охраняемых природных территорий России – пять очагов на общей площади 12 097,13 га. В 2020 г. за пожароопасное время зафиксированы и устранены два очага природных пожаров на площади 4,3 га. В общем, число очагов природных пожаров в 2021 г. в сравнении с предыдущим годом выросло на 25 очагов. Площадь, охваченная пожаром, выросла практически в 3 000 раз. Пожар, который случился 3 августа 2021 г. на территории Мордовского государственного природного заповедника им. Смидовича, является очень существенным [10, с. 369].

## Инфекционные, паразитарные болезни и отравления людей

Территория Республики Мордовии эндемична по таким природно-очаговым болезням, как: геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС), лептоспироз, туляремия, клещевой боррелиоз (болезнь Лайма), бешенство. В период с января по ноябрь 2021 г. зафиксировано 158 278 фактов ОРВИ и 8 фактов гриппа. В сравнении с этим же периодом прошлого года число фактов ОРВИ выросло на 6,03 %, случаи гриппа уменьшились на 99 % (аналогичный период прошлого года (АППГ): ОРВИ – 150 279, грипп – 936).

Распространение болезней в Республике Мордовии наблюдается среди всех возрастов. В зимнее время 2021 г. зафиксировано 34 585 фактов заболеваемости ОРВИ, это на 18,3 % меньше зимних данных 2020 г. (АППГ: ОРВИ – 42 308). Фактов заболевания гриппом не выявлено (АППГ: грипп – 656). Кульминации заболеваемости людей в зимнее время не происходило. В весенний периода 2021 г., в сравнении с тем же периодом 2020 г., случаи болезней ОРВИ сократились на 1,3 % и составили 43 635 случаев, за АППГ – 44 221 случай,

заболеваемость гриппом сократилась в 40 раз и составила 7 случаев, за АППГ – 280 случаев [11, с. 397–398].

За лето 2021 г. данные по ОРВИ выросли на 55,5 % и составили: ОРВИ – 31 647 случаев. Фактов заболеваний гриппом не выявлено. За тот же период прошлого года заболеваемость ОРВИ составила 20 358, грипп – 0. Осенью 2021 г. зафиксировано 48 411 фактов заболеваний ОРВИ, гриппом – один факт. В сравнении с тем же временем прошлого года число случаев заболеваемости ОРВИ увеличилось на 11,7 %. За прошлый год того же времени: ОРВИ – 43 358, грипп – 0.

Проведенное исследование развития случаев заболеваемости населения на территории республики показало, что эпидемический рост, вызванный острыми респираторными вирусными инфекциями и гриппом, происходил в период времени с января по апрель 2021 г. Самое большое число заболевших граждан зафиксировано в октябре (ОРВИ – 26 863, грипп – 1). Число заболевших уменьшилось с мая, однако с августа количество заболевших стало возрастать. Наибольшее число случаев ОРВИ зафиксировано в октябре, что составило 26 863 чел. [12, с. 29].

### **Коронавирусная инфекция COVID-19**

#### *Итоговая статистика за 2021 г. Сравнение с теми же результатами 2020 г.*

115 240 чел. привились в Республике Мордовии в 2020 г., 424 640 чел. привились в 2021 г. К 1 января 2022 г. в Республику Мордовию поступило 673 525 комплектов доз вакцины, в их числе: 474 797 комплектов Спутника V, 164 876 доз Спутника Лайт, 28 260 – ЭпиВакКороны, 5 595 – комплектов Ковивак.

На 1 января 2022 г. всего привито 539 880 чел., в их числе: ревакцинированных – 91 180, первично привитых – 448 700, привитых однократно – 75 340, двукратно – 373 360. От пришедшей вакцины реализовано – 66,6 %, 149 633 комплекта доз вакцины осталось. 83,2 % реализовано от плана по завершённой вакцинации. В медицинских организациях открыта запись людей на вакцинацию с помощью электронной записи через Госуслуги. В общей сложности с 18 января 2021 г. по сегодняшний день на Госуслугах было размещено 113 286 слотов для записи на вакцинацию, произведено 38 774 записи [13, с. 48]. Сначала делается вакцинация лицам старше 60 лет, также медицинским работникам, работникам в сфере образования и социального обслуживания, кроме того, людям, которые живут в местах социального обслуживания и имеют хронические заболевания. Вакцинированные граждане старше 60 лет составляют 36,17 % от всех вакцинированных.

### **Общие данные состояния защиты населения от ЧС**

Главным фактором эффективности функционирования координационных органов и органов управления РСЧС в сфере защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера, пожаров и происшествий на водных объектах служит степень вероятной угрозы для жизни людей. Общим фактором охраны людей от возможной угрозы в конкретной местности является значение среднего размера индивидуального риска. Средний показатель индивидуальной опасности вычисляется отношением числа пострадавших во время осуществления вероятных угроз к количеству населения республики. Численность населения на данный момент равна 778 965 чел. [14, с. 309–310].

### **Оценка состояния защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера**

Сопоставление уровней возможных угроз производится с помощью сравнения значения среднего показателя индивидуальной опасности по России в целом и отдельно в республике, к тому же уровень возможной угрозы в республике считаем условным.

Уровень возможных угроз для жизнедеятельности населения в Республике Мордовии обусловленных техногенными и природными ЧС, считаем *условно допустимым*, потому что средний показатель индивидуальной опасности по Республике Мордовии не больше чем на треть значения среднего показателя индивидуального риска по стране. Уровень возможных угроз для жизнедеятельности населения, которые вызваны пожарами, считаем *условно оптимальным*, потому что средний показатель индивидуальной опасности по Республике Мордовии ниже среднего показателя индивидуальной опасности по стране более чем на треть. Уровень возможных угроз для жизнедеятельности населения, которые вызваны событиями, случившимися на водных объектах, считаем *условно оптимальным*, потому что средний показатель индивидуальной опасности по Республике Мордовии ниже среднего показателя индивидуальной опасности по России более чем на треть. Уменьшение значения среднего показателя индивидуальной опасности по республике, который вызван комплексом приведенных факторов, случается со скоростью, которая намного выше скорости уменьшения показателя коэффициента смертности в Республике Мордовии, из расчета отношения общего количества умерших за год от всех причин в целом к средней численности населения.

### Вывод

В рамках проведенной работы были показаны обобщенные данные о ЧС, случившихся в 2021 г. в Республике Мордовии, их сходства и отличия, а также нанесенный материальный убыток.

Представлена и проанализирована информация о ЧС в Республике Мордовии, результаты прохождения паводкоопасного периода.

Отмечены результаты прохождения пожароопасного сезона – в ходе проведенной работы по организации информационного взаимодействия сил и средств в рамках РСЧС при борьбе с лесными пожарами в 2021 г.

Оценен уровень инфекционных, паразитарных болезней и отравления людей.

Представлены общие данные состояния защиты населения от ЧС.

Проведена оценка состояния защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера.

### Список источников

1. Башарин С.А. Построение модели изображения в телевизионных системах // Фундаментальные и прикладные исследования в области естественных и технических наук: сб. науч. трудов. Белгород: АПНИ, 2018. С. 35–39.
2. Ворончихина Д.Н. Деятельность России в Арктическом Совете по обеспечению экологической безопасности // Культура. Наука. Производство. 2020.
3. Арифиллин Е.З., Калач А.В., Зыбин Д.Г. Моделирование действий и оптимизация численности сотрудников учреждений ФСИН России при возникновении чрезвычайной ситуации // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2018. № 2. С. 33–37.
4. Ворончихина Д.Н. Роль Ассоциации «Арктические муниципалитеты» при осуществлении государственной политики в Арктической зоне Российской Федерации // Вопросы политологии. 2020. Т. 10. № 2 (54). С. 803–808.
5. Журавель В.П. Арктический совет: итоги первого года председательства Финляндии // Научно-аналитический вестник ИЕ РАН. 2018. № 3. С. 127–134.
6. О состоянии и проблемах законодательного обеспечения реализации стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. О состоянии и проблемах законодательного обеспечения научной деятельности Российской Федерации в Антарктике: ежегодный доклад (2018 год) / под общ. ред. Г.В. Иванова. М., 2019. 552 с.

7. Геоинформационные технологии принятия управленческих решений / М.В. Бойцова [и др.] // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2017. № 1. С. 502–507.
8. Алиев К.К., Снетков В.Н. Современные природоохранные проблемы, сопутствующие новому шелковому пути: правовой аспект // Неделя науки СПбПУ: материалы науч. конф. с международным участием. СПб., 2020. С. 229–231.
9. Арифиллин Е.З., Калач А.В., Зыбин Д.Г. Моделирование действий и оптимизация численности сотрудников учреждений ФСИН России при возникновении чрезвычайной ситуации // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2018. № 2. С. 33–37.
10. Никулин М.А. Великодержавная конкуренция в Арктике: геополитическое соперничество в новом политическом пространстве // Вестник РУДН. Сер.: Международные отношения. 2019. Т. 19. № 3. С. 392–403.
11. Карандеев Д.Ю. Оптимизация структуры технической системы по критериям экономичности и надежности, выраженной через меру неопределенности информации // На пути к информационному обществу: сб. статей междунар. науч.-практ. конф. М.: Импульс, 2017. С. 396–399.
12. Каримова А.А. Современные подходы к технологии создания и обновления государственных топографических карт и планов // Геодезия и картография. 2018. Т. 59. № 5. С. 27–36.
13. Сбойчакова А.В. Роль Арктического совета в формировании политики экологической безопасности в Арктике: автореф. дис. ... канд. полит. наук. СПб., 2018. 25 с.
14. Ворончихина Д.Н. Арктический Совет как международный форум сотрудничества государств: участие России // Ате Administrandi. Искусство управления. 2019. Т. 11. № 2. С. 306–329.

## References

1. Basharin S.A. Postroenie modeli izobrazheniya v televizionnyh sistemah // Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v oblasti estestvennyh i tekhnicheskikh nauk: sb. nauch. trudov. Belgorod: APNI, 2018. S. 35–39.
2. Voronchihina D.N. Deyatel'nost' Rossii v Arkticheskom Sovete po obespecheniyu ekologicheskoy bezopasnosti // Kul'tura. Nauka. Proizvodstvo. 2020.
3. Arifullin E.Z., Kalach A.V., Zybin D.G. Modelirovanie dejstvij i optimizaciya chislennosti sotrudnikov uchrezhdenij FSIN Rossii pri vznikenovienii chrezvychajnoj situacii // Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii. 2018. № 2. S. 33–37.
4. Voronchihina D.N. Rol' Associacii «Arkticheskie municipalitety» pri osushchestvlenii gosudarstvennoj politiki v Arkticheskoy zone Rossijskoj Federacii // Voprosy politologii. 2020. T. 10. № 2 (54). S. 803–808.
5. Zhuravel' V.P. Arkticheskij sovet: itogi pervogo goda predsedatel'stva Finlyandii // Nauchno-analiticheskij vestnik IE RAN. 2018. № 3. S. 127–134.
6. O sostoyanii i problemah zakonodatel'nogo obespecheniya realizacii strategii razvitiya Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii i obespecheniya nacional'noj bezopasnosti na period do 2020 goda. O sostoyanii i problemah zakonodatel'nogo obespecheniya nauchnoj deyatel'nosti Rossijskoj Federacii v Antarktike: ezhegodnyj doklad (2018 god) / pod obshch. red. G.V. Ivanova. M., 2019. 552 s.
7. Geoinformacionnye tekhnologii prinyatiya upravlencheskih reshenij / M.V. Bojcova [i dr.] // Innovacionnye, informacionnye i kommunikacionnye tekhnologii. 2017. № 1. S. 502–507.
8. Aliev K.K., Snetkov V.N. Sovremennye prirodoohrannye problemy, soputstvuyushchie novomu shelkovomu puti: pravovoj aspekt // Nedelya nauki SPbPU: materialy nauch. konf. s mezhdunarodnym uchastiem. SPb., 2020. S. 229–231.

9. Arifullin E.Z., Kalach A.V., Zybin D.G. Modelirovanie dejstvij i optimizaciya chislennosti sotrudnikov uchrezhdenij FSIN Rossii pri vznikovenii chrezvychajnoj situacii // Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii. 2018. № 2. S. 33–37.

10. Nikulin M.A. Velikoderzhavnaya konkurenciya v Arktike: geopoliticheskoe sopernichestvo v novom politicheskom prostranstve // Vestnik RUDN. Ser.: Mezhdunarodnye otnosheniya. 2019. T. 19. № 3. S. 392–403.

11. Karandeev D.Yu. Optimizaciya struktury tekhnicheskoy sistemy po kriteriyam ekonomichnosti i nadezhnosti, vyrazhennoj cherez meru neopredelennosti informacii // Na puti k informacionnomu obshchestvu: sb. statej mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M.: Impul's, 2017. S. 396–399.

12. Karimova A.A. Sovremennye podhody k tekhnologii sozdaniya i obnovleniya gosudarstvennyh topograficheskikh kart i planov // Geodeziya i kartografiya. 2018. T. 59. № 5. S. 27–36.

13. Sbojchakova A.V. Rol' Arkticheskogo soveta v formirovanii politiki ekologicheskoy bezopasnosti v Arktike: avtoref. dis. ... kand. polit. nauk. SPb., 2018. 25 s.

14. Voronchihina D.N. Arkticheskij Sovet kak mezhdunarodnyj forum sotrudnichestva gosudarstv: uchastie Rossii // Ate Administrandi. Iskusstvo upravleniya. 2019. T. 11. № 2. S. 306–329.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 01.02.2023; одобрена после рецензирования: 20.04.2023; принята к публикации: 15.06.2023

#### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 01.02.2023; approved after review: 20.04.2023; accepted for publication: 15.06.2023

#### *Информация об авторе:*

**Белоуско Юрий Александрович**, заместитель начальника Главного управления – начальник управления гражданской обороны и защиты населения по Республике Мордовия (430031, г.о. Саранск, ул. Косарева, д. 40), e-mail: belousko.y@inbox.ru

#### *Information about the author:*

**Belousko Yuri A.**, deputy head of the Main department – head of the civil defense and population protection department in the Republic of Mordovia (430031, Saransk, Kosareva str., 40), e-mail: belousko.y@inbox.ru

# ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 620.178.15

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОРПУСОВ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УДАРНОЙ ОБРАБОТКИ

Андрюшкин Александр Юрьевич;

Рустамова Машхура Умаровна.

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»

им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия.

✉ Кадочникова Елена Николаевна.

Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии

А.В. Хрулёва, Санкт-Петербург, Россия

✉ [vf10@yandex.ru](mailto:vf10@yandex.ru)

*Аннотация.* Приведены результаты исследования по влиянию на качество сварных соединений ультразвуковой ударной обработки для обеспечения безопасности корпусов нефтегазового оборудования. Безопасность сварных корпусов нефтегазового оборудования определяется герметичностью сварных соединений. Нарушение герметичности сварного соединения приводит к взрывопожарной опасности. Низкое качество сварного соединения наблюдается в металле шва и на прилегающих к нему участках зоны термического влияния (участок неполного расплавления, участок перегрева). Здесь металл состоит из крупных зерен, а также действуют существенные растягивающие напряжения. Рассчитано распределение температуры металла в зоне термического влияния при сварке низкоуглеродистой стали. По значениям критической температуры диаграммы «железо-цементит» зона термического влияния разбита на участки, определены их размеры. Рассмотрено распределение остаточных напряжений в стыковом сварном соединении. Показано, что металл шва испытывает растягивающие остаточные напряжения. Экспериментально оценено влияние ультразвуковой ударной обработки на качество металла стыкового сварного соединения корпуса нефтегазового оборудования из стали 09Г2С. Качество металла сварного соединения определялось по измерениям его твердости непосредственно после сварки в области, подвергнутой ультразвуковой ударной обработке, и области, в которой такая обработка не проводилась. Результаты измерения твердости сварного соединения показали улучшение состояния металла после ультразвуковой ударной обработки. Твердость, характеризующая прочностные свойства металла, распределена равномерно по сварному соединению и соответствует твердости основного металла корпуса. Экспериментально установлено повышение качества сварного соединения в результате его ультразвуковой ударной обработки для обеспечения безопасности корпуса нефтегазового оборудования. Статья соответствует научному направлению 2.10.1 – Пожарная безопасность.

*Ключевые слова:* твердость, корпус нефтегазового оборудования, сварное соединение, зона термического влияния, ультразвуковая ударная обработка, остаточные напряжения, пожарная безопасность

**Для цитирования:** Андрюшкин А.Ю., Рустамова М.У., Кадочникова Е.Н. Обеспечение безопасности сварных соединений корпусов нефтегазового оборудования методом ультразвуковой ударной обработки // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 103–113.

Scientific article

# ENSURING THE SAFETY OF WELDED JOINTS OF OIL AND GAS EQUIPMENT HOUSINGS BY ULTRASONIC SHOCK TREATMENT

Andryushkin Aleksander Yu.;

Rustamova Mashchura U.

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

✉ Kadochnikova Elena N.

Military academy of logistics named after army general A.V. Khrulev, Saint-Petersburg, Russia

✉ vf10@yandex.ru

**Abstract.** The article presents the results of a study on the impact of ultrasonic shock treatment on the quality of welded joints to ensure the safety of oil and gas equipment housings. The safety of welded housings of oil and gas equipment is determined by the tightness of the welded joints. Violation of the tightness of the welded joint leads to an explosion and fire hazard. The poor quality of the welded joint is observed in the weld metal and in the adjacent areas of the thermal influence zone (incomplete melting area, overheating area). Here the metal consists of large grains, and there are also significant tensile stresses. The distribution of metal temperature in the zone of thermal influence during welding of low-carbon steel is calculated. According to the values of the critical temperature of the «iron-cementite» diagram, the zone of thermal influence is divided into sections, their sizes are determined. The distribution of residual stresses in a butt welded joint is considered. It is shown that the weld metal experiences tensile residual stresses. The effect of ultrasonic shock treatment on the quality of the butt weld metal of the casing of oil and gas equipment made of steel 09G2S has been experimentally evaluated. The quality of the metal of the welded joint was determined by measurements of its hardness immediately after welding in the area subjected to ultrasonic shock treatment and the area in which such treatment was not carried out. The results of measuring the hardness of the welded joint showed an improvement in the condition of the metal after ultrasonic shock treatment. The hardness characterizing the strength properties of the metal is distributed evenly over the welded joint and corresponds to the hardness of the base metal of the housing. The quality of the welded joint has been experimentally improved as a result of its ultrasonic shock treatment to ensure the safety of the casing of oil and gas equipment. The article corresponds to the scientific direction 2.10.1 – Fire safety.

**Keywords:** hardness, oil and gas equipment housing, welded joint, thermal influence zone, ultrasonic shock treatment, residual stresses, fire safety

**For citation:** Andryushkin A.Yu., Rustamova M.U., Kadochnikova E.N. Ensuring the safety of welded joints of oil and gas equipment housings by ultrasonic shock treatment // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 103–113.

## Введение

При изготовлении корпусов нефтегазового оборудования широко применяется сварка. Безопасность корпусов нефтегазового оборудования зависит от герметичности сварных соединений. Сварное соединение включает металл шва (МШ), зону термического влияния (ЗТВ) и основной металл (ОМ). Низкое качество в сварном соединении, чаще всего, наблюдается в металле шва и прилегающих к нему участках зоны термического влияния, что обусловлено высокими остаточными напряжениями и наличием допустимых дефектов. При сварке остаточные напряжения возникают из-за перехода металла из жидкого в твердое состояние, этот переход сопровождается усадкой металла. При эксплуатации находящегося под давлением низкачественного корпуса нефтегазового оборудования может произойти разгерметизация сварного соединения, что приведет к созданию взрывопожарной опасности. Особенно способствуют образованию и развитию трещин в сварном соединении растягивающие

напряжения. Поэтому задача обеспечения безопасности корпусов нефтегазового оборудования за счет повышения качества сварных соединений актуальна [1–8].

Для повышения качества корпусов нефтегазового оборудования применяют различные методы снижения остаточных напряжений в сварных соединениях, такие как термообработка (подогрев, отпуск, отжиг) и вибрационная обработка. Эти методы имеют ряд ограничений, связанных с габаритами свариваемого изделия, применяемого способа сварки и метода снятия остаточных напряжений.

Высокой универсальностью обладает метод ультразвуковой ударной обработки (УУО), обеспечивающий эффективное снятие и стабилизацию сварочных напряжений. При УУО происходит пластическое деформирование поверхности металла сварного шва и ЗТВ, что приводит к поверхностному наклепу. УУО обеспечивает смену растягивающих напряжений на сжимающие напряжения в сварном соединении.

В ряде работ [9–12] отмечено, что УУО повышает качество и безопасность сварного соединения за счет:

- снижения остаточных напряжений в сварном шве и ЗТВ;
- получения поверхностного упрочненного слоя с повышенным сопротивлением к образованию трещин;
- измельчения зерен металла в сварном шве.

Изменение свойств сварного соединения корпуса нефтегазового оборудования до и после УУО можно оценить косвенно, по его твердости. По твердости металла сварного соединения можно определить его прочностные и пластические свойства.

Целью исследования является экспериментальная оценка повышения качества сварного соединения в результате его УУО для обеспечения безопасности корпуса нефтегазового оборудования.

Задачи исследования:

1. Провести анализ остаточных напряжений и механических свойств металла в сварном соединении низкоуглеродистой стали.
2. Экспериментально оценить влияние УУО на качество металла сварного соединения корпуса нефтегазового оборудования.

### Методы исследования

Для снятия и благоприятного перераспределения остаточных напряжений в сварном соединении корпуса нефтегазового оборудования был применен метод УУО комплексом «Шмель-1».

Технологический комплекс «Шмель» состоит из ультразвукового инструмента, источника питания, соединительных элементов и предназначен для упрочняющей обработки сварных соединений металлоконструкций методом ударного деформирования на ультразвуковой частоте. УУО сварного соединения должна проводиться непосредственно после сварки изделия с применением входящего в комплект данного комплекса инструмента с расположенными в ряд иглами-ударниками.

О прочностных характеристиках металла сварного соединения (предел прочности при растяжении или временное сопротивление  $\sigma_b$ , предел текучести  $\sigma_t$ , модуль упругости  $E$ , предел выносливости  $\sigma_{-1}$ ) можно судить по измерениям его твердости. Метод измерения твердости материала широко распространен в практике, так как он отличается простотой процедуры и быстротой проведения испытаний. Главным преимуществом этого метода является непосредственное измерение твердости конкретного сварного шва без его разрушения.

Для фактической оценки твердости металла сварного соединения был применен метод Бринелля (ГОСТ 9012), основанный на внедрении в металл индентора в виде стального шарика. Использовался электронный переносной твердомер ТЭМП-2 динамического действия, предназначенный для экспрессного измерения твердости сталей, сплавов и их сварных



соединений по шкалам Бринелля, Роквелла, Шора, Виккерса. Поверхность сварного соединения в месте измерения твердости обрабатывали до шероховатости 2,5 мкм [9–12].

### Остаточные напряжения и механические свойства металла в сварном соединении

При сварке плавлением под воздействием источника теплоты расплавляются кромки основного (свариваемого) металла и электродный металл, подаваемый в сварочную ванну, которая перемещается вместе с источником теплоты. Сварочная ванна условно может быть разделена на две части: головную и хвостовую. В головной части происходит плавление, а в хвостовой – кристаллизация металла и формирование шва.

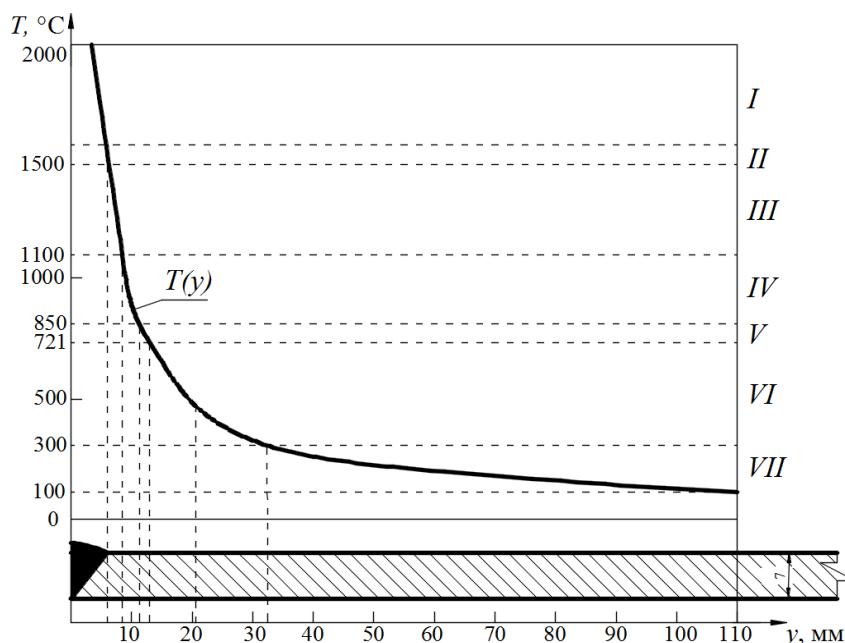


Рис. 1. Строение зоны термического влияния низкоуглеродистой стали: I – металл шва; II – участок неполного расплавления; III – участок перегрева; IV – участок нормализации; V – участок неполной перекристаллизации; VI – участок рекристаллизации; VII – участок синеломкости;  $T$  – температура металла;  $y$  – расстояние от оси сварного соединения

Вокруг нагретого металла шва возникает ЗТВ, строение и размеры которой зависят от химического состава и теплофизических свойств свариваемого металла, мощности и скорости движения источника теплоты, степени его концентрированности, других факторов. ЗТВ в зависимости от структурных изменений металла, происходящих в результате его нагрева, разделяют на участки (рис. 1). Для стали границы участков устанавливают по значениям критических температур диаграммы «железо-цементит». Температуру нагрева металла от линейного быстродвижущегося источника тепла можно вычислить по эмпирической формуле [8]:

$$T = \frac{0,484 \cdot \left( \frac{q_n}{2 \cdot \delta} \right)}{c_\gamma \cdot y} + 20, \quad (1)$$

где  $T$  – температура металла, °C;  $q_n$  – погонная энергия, кал/см;  $\delta$  – толщина свариваемого металла, см;  $c_\gamma$  – объемная теплоемкость, кал/(см<sup>3</sup>·°C);  $y$  – расстояние от оси сварного соединения, см.

Расчет по формуле (1) при следующих исходных данных:  $q_n=3\,000$  кал/см;  $\delta=0,7$  см;  $c_\gamma=1,14$  кал/(см<sup>3</sup>·°C) показывает, что ЗТВ низкоуглеродистых сталей весьма велика и составляет порядка  $y=110$  мм (рис. 1). Однако оказывающие решающее влияние на качество сварного соединения изменения структуры наблюдаются в металле шва и на участках ЗТВ, непосредственно прилегающих к нему,  $y=20$  мм. Здесь при нагревании и охлаждении проходят полиморфные превращения металла, сопровождаемые упругими и пластическими деформациями, приводящие к возникновению значительных остаточных напряжений. Обычно МШ, участки неполного расплавления и перегрева имеют более низкие прочностные показатели по сравнению с ОМ, так как здесь формируется крупнозернистая структура металла, испытывающего значительные растягивающие остаточные напряжения. Поэтому для повышения качества сварного соединения необходима его обработка после сварки, обеспечивающая улучшение структуры металла – формирование мелкозернистой структуры.

Распределение остаточных напряжений в сварных соединениях весьма разнообразно и трудно поддается регламентации и классификации. Более или менее стабильный характер имеют остаточные напряжения в стыковых сварных соединениях (рис. 2). Опасны растягивающие остаточные напряжения, возникающие в МШ и прилегающих к нему участках ЗТВ: неполного расплавления и перегрева. Поэтому для снятия или формирования сжимающих остаточных напряжений необходима обработка МШ и ЗТВ [10–12].

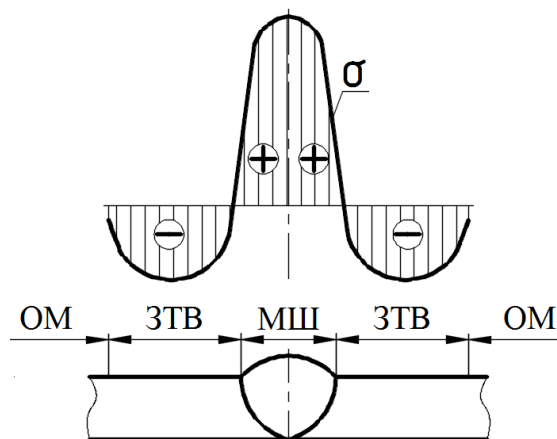
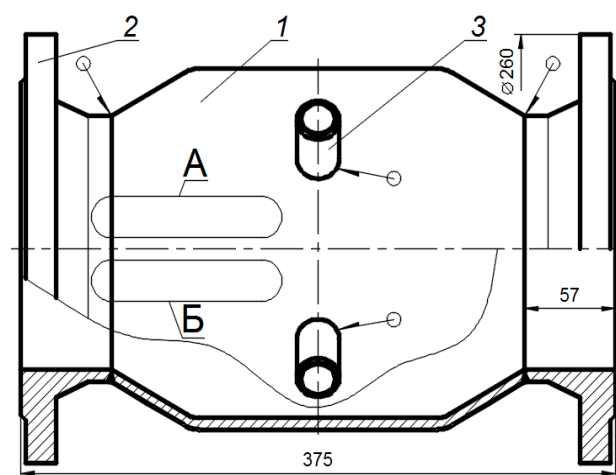


Рис. 2. Характерное распределение остаточных напряжений в поперечном сечении стыкового сварного соединения из низкоуглеродистой стали:  $\sigma$  – остаточные напряжения; МШ – металл шва; ЗТВ – зона термического влияния; ОМ – основной металл; плюс – растягивающие напряжения; минус – сжимающие напряжения

УУО металла шва и ЗТВ непосредственно после сварки способствует формированию мелкозернистой структуры металла, создает сжимающие остаточные напряжения, упрочняет поверхность сварного соединения за счет наклепа.

### Влияние УУО на качество металла сварного соединения корпуса нефтегазового оборудования

Корпус нефтегазового оборудования обычно представляет собой сварную конструкцию, нагруженную внутренним давлением. Для соединения с подводящими и отводящими магистралями жидкостей и газов корпус содержит разнообразные фланцы, штуцера и патрубки. Рассмотрим цилиндрический корпус с коническими переходами, выполненными обжимом торцов трубы, к которому приварены фланцы и штуцера (рис. 3). Все детали изделия изготовлены из хорошо свариваемой стали 09Г2С. Перед сваркой металл обечайки с коническими переходами по проведенным измерениям имел твердость  $HВ=1\,315$  МПа.



А (без УУО); Б (после УУО)

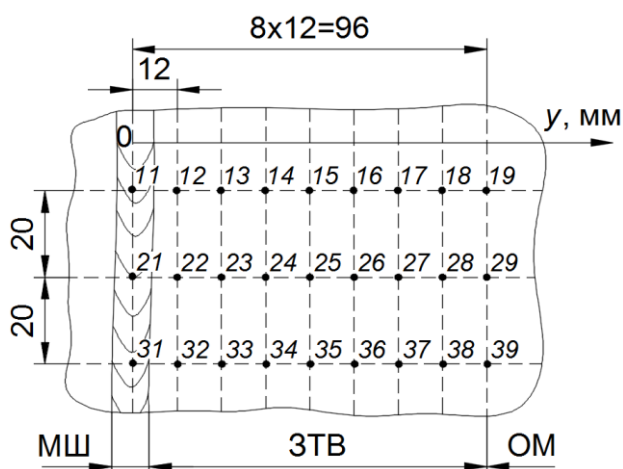


Рис. 3. Корпус: 1 – обечайка с коническими переходами; 2 – фланец; А – схема измерения твердости в области сварного соединения без УУО; Б – схема измерения твердости в области сварного соединения после УУО; у – расстояние от оси сварного соединения; 11–19, 21–29, 31–39 – точки измерения твердости

В результате воздействия источника теплоты в сварном соединении наблюдается изменение структуры металла, возникают остаточные напряжения, что выражается в изменении твердости металла. После УУО происходит улучшение структуры металла (измельчение зерен), благоприятно перераспределяются остаточные напряжения (превалируют сжимающие напряжения), создается упрочненный поверхностный слой, что также отражается на твердости металла сварного соединения. Таким образом, УУО повышает качество сварного соединения [9–12].

Для оценки влияния УУО на прочностные свойства металла проводились измерения твердости в двух областях стыкового сварного соединения фланца и обечайки корпуса: область «А» – без УУО, область «Б» – после УУО (рис. 3). Области «А» и «Б» расположены так, что включают в себя МШ и зону термического влияния сварного соединения. Толщина металла свариваемых деталей составляла  $\delta=7$  мм.

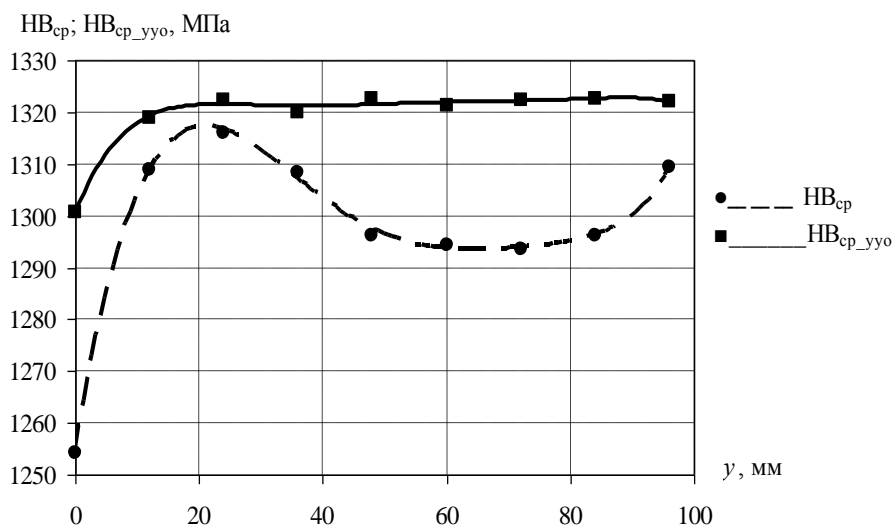
Область «Б» стыкового сварного соединения непосредственно после сварки была подвергнута УУО комплексом «Шмель» со следующими технологическими параметрами: частота 22 кГц; мощность 630 Вт; амплитуда 35 мкм; скорость проведения обработки 2 м/мин.

Измерение твердости металла сварного соединения в областях «А» и «Б» проводились методом Бринелля с помощью переносного твердомера ТЭМП-2. В каждой области измерения твердости НВ осуществлялись в 27 точках (рис. 3). Точки расположены в три ряда, перпендикулярно оси сварного соединения, равномерно через 12 мм. Соответственно на определенном расстоянии  $y$ , отсчитываемого от оси сварного соединения, измерения твердости металла проводились в трех точках в области «А»: НВ1, НВ2, НВ3, затем вычислялось среднее значение твердости  $HV_{cp}$ . Аналогично измерения твердости металла осуществлялись в области «Б»:  $HV1_{yuo}$ ,  $HV2_{yuo}$ ,  $HV3_{yuo}$ , затем рассчитывалось среднее значение твердости  $HV_{cp_{yuo}}$  (табл., рис. 4).

Таблица

**Результаты измерения твердости металла сварного соединения в областях «А» и «Б» в точках 11–19; 21–29; 31–39 (рис. 3)**

№ точки	y, мм	Твердость металла сварного соединения без УУО (область «А»)				Твердость металла сварного соединения после УУО (область «Б»)			
		НВ1, МПа	НВ2, МПа	НВ3, МПа	НВ <sub>ср</sub> , МПа	НВ1 <sub>ууо</sub> , МПа	НВ2 <sub>ууо</sub> , МПа	НВ3 <sub>ууо</sub> , МПа	НВ <sub>ср_ууо</sub> , МПа
11, 21, 31	0	1 251	1 263	1 249	1 254	1 293	1 301	1 308	1 301
12, 22, 32	12	1 296	1 307	1 324	1 309	1 315	1 329	1 313	1 319
13, 23, 33	24	1 291	1 334	1 323	1 316	1 325	1 314	1 328	1 322
14, 24, 34	36	1 293	1 303	1 329	1 308	1 338	1 318	1 304	1 320
15, 25, 35	48	1 287	1 290	1 312	1 296	1 336	1 319	1 313	1 323
16, 26, 36	60	1 307	1 280	1 296	1 294	1 321	1 311	1 332	1 321
17, 27, 37	72	1 292	1 277	1 312	1 294	1 297	1 333	1 337	1 322
18, 28, 38	84	1 294	1 282	1 313	1 296	1 338	1 302	1 328	1 323
19, 29, 39	96	1 324	1 317	1 287	1 309	1 316	1 331	1 319	1 322



**Рис. 4. Зависимость твердости металла сварного соединения в области «А» (без УУО)  $HV_{cp}$  и в области «Б» (после УУО)  $HV_{cp_{yuo}}$  от расстояния  $y$ , отсчитываемого от оси сварного соединения  $y$  (рис. 3)**

Анализ результатов измерений твердости металла в области «А» (без УУО) сварного соединения показывает, что она варьируется примерно на 5 % (рис. 4). Это обусловлено различной структурой металла и величиной остаточных напряжений в МШ и ЗТВ. Минимальная твердость наблюдается на оси сварного соединения в МШ  $HV=1\,254$  МПа, затем она резко возрастает и на участке нормализации достигает максимального значения

НВ=1 316 МПа, затем незначительно снижается до НВ=1 294 МПа и увеличивается, достигая твердости НВ=1 309 МПа, близкой к твердости ОМ корпуса. Полученные результаты говорят о работоспособности сварного соединения и его приемлемом качестве, при этом в МШ могут присутствовать существенные растягивающие остаточные напряжения, представляющие опасность при эксплуатации корпуса нефтегазового оборудования.

Измерения твердости металла в области «Б» (после УУО) сварного соединения показывают значительное улучшение состояния металла. Обусловленное УУО измельчение зерна и поверхностное упрочнение (наклеп) МШ и ЗТВ обеспечивает твердость сварного соединения на уровне НВ=1 320 МПа. Только в МШ наблюдается меньшая твердость НВ=1 301 МПа, то есть здесь твердость уменьшается на 1,5 % по сравнению с ЗТВ.

Сравнивая измерения твердости металла стыкового сварного соединения до и после УУО можно отметить, что твердость металла после обработки увеличилась на 1–4 %. При этом после УУО твердость металла, а следовательно, его прочностные и пластические свойства распределены равномерно по сварному соединению и соответствуют свойствам (твердости) ОМ.

Таким образом, экспериментально установлено, что УУО повышает качество сварного соединения корпуса: улучшается структура металла и благоприятно перераспределяются остаточные напряжения.

### Результаты исследования и их обсуждение

Проведен анализ остаточных напряжений и механических свойств металла в сварном соединении низкоуглеродистой стали. Рассмотрено строение ЗТВ низкоуглеродистой стали. Рассчитано распределение температуры в направлении перпендикулярном оси стыкового сварного соединения. В зависимости от температуры нагрева металла в ЗТВ выделены участки с различной структурой металла. Ухудшающие качество сварного соединения существенные структурные изменения металла, а также трансформация его свойств наблюдается в МШ, участке неполного расплавления и участке перегрева. В МШ стыкового сварного соединения возникают значительные растягивающие остаточные напряжения, которые способствуют развитию трещин.

Проведенный анализ показал, что после сварки необходима улучшающая состояние металла сварного соединения УУО, способствующая измельчению зерна, снижению остаточных напряжений и поверхностному упрочнению.

Экспериментально оценено влияние УУО на качество металла сварного соединения корпуса нефтегазового оборудования. Это влияние определялось при сравнении твердости металла сварного соединения в области «А» без УУО и в области «Б» после УУО. Результаты эксперимента показали рост твердости металла сварного соединения после УУО, при этом твердость металла, а следовательно, его прочностные и пластические свойства распределены равномерно по сварному соединению.

Цель исследования можно считать достигнутой – экспериментально установлено повышение качества сварного соединения в результате его УУО для обеспечения безопасности корпуса нефтегазового оборудования.

### Заключение

По проведенному исследованию можно сделать следующие выводы:

1. Безопасность корпусов нефтегазового оборудования обеспечивается качественными сварными соединениями.
2. Снижение качества металла сварного соединения обусловлено его нагреванием до высокой температуры, что способствует формированию крупнозернистой структуры металла и возникновению существенных остаточных напряжений.

3. Твердость металла сварного соединения косвенно характеризует его прочностные и пластические свойства.

4. Повышению качества сварного соединения способствует проводимая непосредственно после сварки УУО, обеспечивающая улучшение структуры металла, снижение остаточных напряжений, поверхностное упрочнение.

Таким образом, УУО повышает качество сварного соединения, что обеспечивает надежность и безопасность корпусов нефтегазового оборудования.

### Список источников

1. Sornette D., Maillart T., Kröger W. Exploring the limits of safety analysis in complex technological systems // International journal of disaster risk reduction. 2013. Vol. 6. P. 59–66. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2013.04.002.
2. Bauwens C.R., Chaffee J., Dorofeev S.B. Vented explosion overpressures from combustion of hydrogen and hydrocarbon mixtures // International journal of hydrogen energy. 2011. Vol. 36. Iss. 3. P. 2329–2336. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2010.04.005.
3. Quantification of oil spill risk / D.S. Etkin [et al.] // Oil spill science and technology – Fingas M. (ed.). 2-nd ed. Cambridge, MA: Gulf professional publishing. 2017. P. 71–183. DOI: 10.1016/B978-0-12-809413-6.00002-3.
4. Vianello C., Maschio G. Quantitative risk assessment of the Italian gas distribution network // Journal of loss prevention in the process industries. 2014. Vol. 32. P. 5–17. DOI: 10.1016/j.jlp.2014.07.004.
5. Thermal stress and deformation in moderately thick shells of revolution of functionally graded material under thermal impulsive loading / Sh. Takezono [et al.] // Transactions of the Japan society of mechanical engineers. Series B 00066(00645). 2000. Vol. 66. № 645. P. 1060–1067.
6. Анализ отказов и повышение надежности полевых магистральных трубопроводов / Р.М. Зябиров [и др.] // Технология нефти и газа. 2019. № 2 (121). С. 45–48.
7. Комарицина В.Н., Сухорукова Н.Н. Исследования механики деформаций и разрушений и некоторые вопросы обеспечения безопасности и надежности трубопроводов с учетом особенностей технологического процесса // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Т. 7. № 4. С. 116–119.
8. Копельман Л.А. Основы теории прочности сварных конструкций: учеб. пособие. 2-е изд., испр. СПб.: Изд-во «Лань», 2010. 464 с.
9. Андрияшкин А.Ю., Кадочникова Е.Н., Рустамова М.У. Экспериментальное определение прочностных и пластических свойств корпусов нефтегазового оборудования по твердости и их влияние на взрывопожарную опасность // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 16–24.
10. Зарезин В.Е. Методика улучшения качества сварных швов ультразвуковой ударной обработкой с обоснованием оптимальных параметров упрочнения поверхностного слоя // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2016. № 4. С. 16–22.
11. Антонов А.А., Летуновский А.П. Снижение остаточных сварочных напряжений методом ультразвуковой ударной обработки // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2012. № 2 (30). С. 21–26.
12. Тажибаев А.Р., Тажибаева А.В., Бикбулатова Г.И. Методы выявления и снижения остаточных напряжений в сварных соединениях // Современные материалы, техника и технологии. 2021. № 5 (38). С. 45–53.

## References

1. Sornette D., Maillart T., Kröger W. Exploring the limits of safety analysis in complex technological systems // *International journal of disaster risk reduction*. 2013. Vol. 6. P. 59–66. DOI: 10.1016/j.ijdr.2013.04.002.
2. Bauwens C.R., Chaffee J., Dorofeev S.B. Vented explosion overpressures from combustion of hydrogen and hydrocarbon mixtures // *International journal of hydrogen energy*. 2011. Vol. 36. Iss. 3. P. 2329–2336. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2010.04.005.
3. Quantification of oil spill risk / D.S. Etkin [et al.] // *Oil spill science and technology* – Fingas M. (ed.). 2-nd ed. Cambridge, MA: Gulf professional publishing. 2017. P. 71–183. DOI: 10.1016/B978-0-12-809413-6.00002-3.
4. Vianello C., Maschio G. Quantitative risk assessment of the Italian gas distribution network // *Journal of loss prevention in the process industries*. 2014. Vol. 32. P. 5–17. DOI: 10.1016/j.jlp.2014.07.004.
5. Thermal stress and deformation in moderately thick shells of revolution of functionally graded material under thermal impulsive loading / Sh. Takezono [et al.] // *Transactions of the Japan society of mechanical engineers. Series B* 00066(00645). 2000. Vol. 66. № 645. P. 1060–1067.
6. Analiz otkazov i povyshenie nadezhnosti polevyh magistral'nyh truboprovodov / R.M. Zyabirov [i dr.] // *Tekhnologiya nefti i gaza*. 2019. № 2 (121). S. 45–48.
7. Komaricina V.N., Suhorukova N.N. Issledovaniya mekhaniki deformacij i razrushenij i nekotorye voprosy obespecheniya bezopasnosti i nadezhnosti truboprovodov s uchetom osobennostej tekhnologicheskogo processa // *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov*. 2017. T. 7. № 4. S. 116–119.
8. Kopel'man L.A. Osnovy teorii prochnosti svarnyh konstrukcij: ucheb. posobie. 2-e izd., ispr. SPb.: Izd-vo «Lan'», 2010. 464 s.
9. Andryushkin A.Yu., Kadochnikova E.N., Rustamova M.U. Eksperimental'noe opredelenie prochnostnyh i plasticheskikh svojstv korpusov neftegazovogo oborudovaniya po tverdosti i ih vliyanie na vzryvopozharnuyu opasnost' // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2022. № 2 (62). S. 16–24.
10. Zarezin V.E. Metodika uluchsheniya kachestva svarnyh shvov ul'trazvukovoj udarnoj obrabotkoj s obosnovaniem optimal'nyh parametrov uprochneniya poverhnostnogo sloya // *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*. 2016. № 4. S. 16–22.
11. Antonov A.A., Letunovskij A.P. Snizhenie ostatochnyh svarochnyh napryazhenij metodom ul'trazvukovoj udarnoj obrabotki // *Truboprovodnyj transport: teoriya i praktika*. 2012. № 2 (30). S. 21–26.
12. Tazhibaev A.R., Tazhibaeva A.V., Bikbulatova G.I. Metody vyyavleniya i snizheniya ostatochnyh napryazhenij v svarnyh soedineniyah // *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii*. 2021. № 5 (38). S. 45–53.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 31.01.2023; одобрена после рецензирования: 29.03.2023;  
принята к публикации: 31.03.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 31.01.2023; approved after review: 29.03.2023;  
accepted for publication: 31.03.2023

*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**, младший научный сотрудник 12-го научно-исследовательского отдела 1-го управления научно-исследовательского (организации материально-технического обеспечения) Научно-исследовательского института (военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва (199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8), 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.**, junior researcher of the 12th research department of the 1st directorate of research (organization of logistics) Research institute (military system research of logistics of the armed forces of the Russian Federation) Military academy of logistics named after General of the Army A.V. Khrulev (199034, Saint-Petersburg, nab. Makarova, 8), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: vf10@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4577-390X>



Научная статья

УДК 532.529

## **ТЕХНИКА ИМПУЛЬСНОГО ТУШЕНИЯ ГОРЯЩИХ АВТОЦИСТЕРН В ТОННЕЛЯХ И УЗКИХ ДОРОГАХ С ПРЕДОТВРАЩЕНИЕМ ВЗРЫВОВ ТОПЛИВО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ**

✉ Захматов Владимир Дмитриевич;

Крутолапов Александр Сергеевич;

Минкин Денис Юрьевич.

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

✉ [zet.pulse@gmail.com](mailto:zet.pulse@gmail.com)

*Аннотация.* Приведено описание новой техники импульсного, дистанционного, быстрого тушения горящего топлива и предотвращение взрывов топливовоздушных смесей в различных ситуациях. Обоснована возможность применения новой техники для тушения пожаров различных видов бензина, дизельного топлива в колоннах автомобилей, автоцистерн, составах железнодорожных цистерн и локомотивах, находящихся в тоннелях или на узких дорогах в лесу. Выделена общая черта этих ситуаций: ограниченная или отсутствующая возможность объехать горящую, взрывоопасную автоцистерну или быстро отъехать из зоны вероятного воспламенения от теплового излучения пламени и поражения ударной волной и горящими разлетающимися фрагментами корпуса и автоцистерны при взрыве горящего автомобиля. Обоснована целесообразность применения многоствольных, распылительных модулей.

*Ключевые слова:* пожар, тоннель, встречные потоки тепла и дыма, токсичность, отсутствие видимости, огнетушащие шквалы, вихри, смерчи

**Для цитирования:** Захматов В.Д., Крутолапов А.С., Минкин Д.Ю. Техника импульсного тушения горящих автоцистерн в тоннелях и узких дорогах с предотвращением взрывов топливовоздушных смесей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 114–126.

Scientific article

## **THE TECHNIQUE OF PULSE EXTINGUISHING OF BURNING TANKERS IN TUNNELS AND NARROW ROADS WITH THE PREVENTION OF EXPLOSIONS OF FUEL-AIR MIXTURES**

✉ Zakhmatov Vladimir D.;

Krutolapov Alexander S.;

Minkin Denis Yu.

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

✉ [zet.pulse@gmail.com](mailto:zet.pulse@gmail.com)

*Abstract.* The description of a new technique of pulsed, remote, rapid extinguishing of burning fuel and prevention of explosions of fuel-air mixtures in various situations is given. The possibility of using new technology to extinguish fires of various types of gasoline, diesel fuel in columns of cars, tank trucks, railway tank trains and locomotives located in tunnels or on narrow roads in the forest is substantiated. A common feature of these situations is highlighted: limited or absent ability to drive around a burning, explosive tanker truck or quickly drive away from the zone of probable ignition from the thermal radiation of the flame and damage by a shock wave and burning flying fragments of the hull and tanker truck during the explosion of a burning car. The expediency of using multi-barrel, spray modules is substantiated.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

**Keywords:** fire, tunnel, oncoming heat and smoke flows, toxicity, lack of visibility, fire extinguishing squalls, whirlwinds, tornadoes

**For citation:** Zakhmatov V.D., Krutolapov A.S., Minkin D.Yu. The technique of pulse extinguishing of burning tankers in tunnels and narrow roads with the prevention of explosions of fuel-air mixtures // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 114–126.

## Введение

Традиционная пожарная техника неэффективно и очень долго тушит пожары в железнодорожных, автомобильных, кабельных тоннелях, в метро. Войны последнего десятилетия показали высокую актуальность аналогичных ситуаций – тушения горящих автоцистерн и военных машин при движении колонн по узким дорогам в лесу, холмистой местности, оврагам. Традиционные пожарные машины не могут подъехать в тоннеле к пожару на дистанцию эффективного тушения из-за мощного встречного потока высокотемпературного, токсичного дыма, на узких дорогах – к горящим автоцистернам из-за опасности их неожиданного взрыва, тем более что в прифронтной полосе пожарных команд нет.

Актуальность: тушение пожара в тоннелях и в меньшей степени на узких дорогах, в условиях полузакрытого пространства, осложнено встречными потоками токсичного, густого, высокотемпературного дыма, не позволяющими традиционным пожарным автомобилям, даже тяжелого типа, приблизиться на дистанцию эффективного тушения. Другая причина – пробки в тоннелях из аварийных и брошенных автомобилей, остановленная колонна топливозаправщиков, грузовиков, самоходных артиллерийских установок (САУ), бронетранспортеров (БТР), боевых машин пехоты (БМП) – сложная задача, справиться с которой своевременно и спасти людей практически невозможно с помощью современных стационарных систем тушения пожаров в тоннелях и пожарных машин на узких дорогах. Необходима принципиально новая техника.

## Обзор причин возгораний и существующих стационарных систем тушения в тоннелях

Основные причины возгораний нефтепродуктов в тоннелях:

1. Аварии автомобилей, цистерн локомотивов, короткие замыкания электрооборудования в тоннеле, взрыв паров бензина от искр электротехнического оборудования.
2. На узких дорогах в прифронтной полосе – ракетно-артиллерийские обстрелы, авиационная бомбежка с самолетов, вертолетов, прицельное сбрасывание малых зарядов взрывчатых веществ (ВВ) с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Современные системы объемного пожаротушения (СОПТ) в тоннелях, использующие азот, углекислый газ, хладон и более дорогие – аэрозольные, тушат только возгорания внутри герметичных или слабо вентилируемых малых помещений, электрораспределительных ящиков, трансформаторных станций. СОПТ не тушат возгорания и локальные пожары в автомобильном и железнодорожном тоннелях, интенсивно и постоянно вентилируемых, в больших помещениях ангаров. СОПТ тушат возгорания в начальной стадии развития внутри ограниченных объемов, без интенсивной вентиляции. В открытом пространстве СОПТ не тушат даже возгорания, так как объемное тушение достигается снижением содержания кислорода ниже предела поддержания горения и выживаемости людей. Порошковые струи и непрозрачные облака сильно раздражают органы дыхания, обоняния, зрения, закрывают видимость, затрудняя эвакуацию людей, способствуя их гибели и травматизму от тяжелых ожогов. Поэтому СОПТ применяют только в небольших помещениях объемом в десятки кубических метров, где нет людей и не проходят пути их эвакуации.

Пенные и гидравлические пожарные машины тушат медленно, с большими удельными расходами воды различные пожары в тоннелях, в лесу на узких дорогах только с дистанции эффективного тушения 10–20 м и при подключении к мощному водопроводу или при регулярном подвозе десятков тонн воды. Сложно и дорого обеспечить пожаробезопасность тоннелей, особенно при интенсивно развивающихся пожарах аварийных разливов топлива, смазочных масел. Требуется регулярная модернизация техники тушения из-за постоянного увеличения интенсивности движения, объемов перевозимых пожаровзрывоопасных грузов, в первую очередь топливозаправщиков емкостью 10–20 м<sup>3</sup> и больше, наиболее опасных при авариях в железнодорожных и автомобильных, наземных и подводных тоннелях длиной 10–100 км и более. Службы эксплуатации таких тоннелей, метро, шахт, ангаров, обеспечения бесперебойной доставки топлива, боеприпасов в прифронтовой полосе ждут от разработчиков пожарной, традиционной техники решения несовместимых в технике струйной подачи огнетушащих составов (ОС) задач: повысить качество тушения, снизить удельные расходы ОС и стоимость изготовления, монтажа и эксплуатации в условиях тушения в тоннелях огнетушителей и различных модулей – стационарных, на колесных и гусеничных шасси.

Основными показателями тоннельной стационарной системы модулей тушения является эффективность, дальность, надежность и стабильность тушения. Традиционные системы тушения пожаров в тоннеле – дорго, сложны, множество узлов и деталей снижают их надежность, опасны в эксплуатации и техническом обслуживании из-за длительного нахождения под высоким давлением. От таких систем отказаться сложно, длинные сухотрубы заполняются долго, не предотвращая развитие возгораний в разрушительные, быстро распространяющиеся пожары, перед которыми эти системы бессильны. Дорго, часто невозможно оснастить тоннели по всей их длине стационарными системами пожаротушения. Поэтому для тушения возгораний топлив применяют только огнетушители, эффективные в период до 15–30 мин от начала возгорания. В длинных тоннелях невозможно быстро обеспечить прибытие охранника для тушения с принесенным с собой 2–5-литровым огнетушителем и 10-литровым огнетушителями, развешенными по стенам тоннеля. После окончания данного короткого периода возможно тушить только длительной подачей воды ручными и стационарными стволами с большими удельными расходами. На стадиях возгораний или локальных пожаров огнетушителями потушено лишь 10,2 % случаев пожаров в тоннелях [1, 2]. Средняя длительность тушения пожаров в начальной стадии развития 60–80 мин. Как правило, пожар тушат шахтеры до прибытия пожарных и спасателей. Огнетушители в 30 % тушений успевают усилить подачей воды через шланги (рукава) с ручными стволами из пожарно-оросительного трубопровода, проложенного по всей длине тоннеля – это ускоряет тушение и снижает вероятность повторных воспламенений.

Анализ аварийности в тоннелях, шахтах за 20 лет показал, что струйная пожарная техника тушит до 60 % от общего числа пожаров за период от 20 ч до нескольких дней, необходимых, чтобы пожарные машины добрались до пожара сквозь автомобильные или железнодорожные заторы, постепенно разбираемые тягачами, и пожарные смогли использовать имеющийся запас рукавов для прокладки рукавной линии к позиции тушения. Возимого запаса ОС на автомобилях не хватает на тушение развитого пожара [3, 4].

### **Проблемы эффективного тушения пожаров в тоннелях**

Тушение развитых пожаров в шахтах требует техники дистанционного тушения от 100 м и выше вследствие затрудненности подхода к очагу из-за мощных встречных потоков дыма, раскаленного воздуха, внезапных выбросов пламени. При пожаре на открытом пространстве более 90 % дыма и тепловых потоков уходит вверх, при пожаре в шахте до 50 % поражающих факторов устремляются навстречу пожарным. Для защиты пожарных, работающих с лафетными стволами на позиции тушения, необходим тонкий распыл огнетушащих агентов (ОА) по всему

сечению штрека, тоннеля для создания теплосветозащитного слоя толщиной не менее 5–10 м. Радиус эффективного тушения подачи воды и растворов компактными струями не выше  $R=30\text{--}40$  м, тонкораспыленными струями – до 5–10 м. Реально воду и пену подают с дальних дистанций, позволяющих работать при допустимых значениях поражающего теплового фактора, и вся масса огнетушащей жидкости стекает по полу шахты, практически не воздействуя на горящую массу угля и оборудование в забое или горящий вагон в тоннеле метро.

Поэтому подземное тушение длится днями, неделями, месяцами с постоянным риском для жизни работающих горноспасателей и пожарных. Для изменения этого положения необходима техника, обеспечивающая эффективное тушение тонкораспыленной водой с дальней, безопасной дистанции, при условии горизонтальной подачи струй. Многочисленные модернизации исчерпали резервы гидравлической, пневматической и газовой пожарной техники, включая их последние импульсные версии. Эффект от последних модернизаций мал и не оправдывает затрат на них, улучшения параметров тушения измеряются несколькими процентами, а стоимость модернизированной системы возрастает на десятки процентов и более. Поэтому в настоящее время защита тоннелей требует принципиально новых решений [1, 5].

### Имеющиеся научные разработки

Автором В.Д. Захматовым выполнены исследования в рамках пятилетней научно-исследовательской работы в Отделении геодинамики взрыва Института геофизики АН УССР:

1. Тушение эндогенных пожаров и предотвращение взрывов угольной пыли в шахтах Донецко-Луганского бассейна и г. Караганды. В 1983 г. изготовлен экспериментальный, многоствольный модуль (ММ) из восьми стволов (ММ-8) на полозьях, испытан на полигоне Гражданской обороны (ГО) СССР, г. Конча-Заспа, Киевской обл., и успешно показан на всесоюзных учениях ГО СССР в сентябре 1983 г.

2. В середине мая 1986 г. экспериментальный ММ-9 на шасси двухосного лафета был в аварийном порядке спроектирован, изготовлен на опытном производстве Института технической теплофизики АН УССР и испытан на полигоне полка ГО в пригороде г. Киева Конча-Заспа. За день по результатам испытаний была скорректирована конструкторско-технологическая документация (КТД), и на ремонтном заводе «Арсенал-2» Министерства обороны СССР за две недели была выпущена, прошла заводские испытания опытно-промышленная партия 30 лафетных ММ-9 и незамедлительно отправлена в зону г. Чернобыля. ММ-9 успешно применялись в зоне Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) как стационарные, дистанционно управляемые пожарные, исполнительные модули, быстро монтируемые на особо опасных радиоактивных участках: трансформаторная станция близ четвертого блока, зал третьего блока с разлитым трансформаторным маслом и др.

3. В период 1995–2013 гг. разработан профи-огнетушитель дальнобойный универсального распыла выстрелом, производство сертифицировано на ГКБ «Луч», КТД передана на завод Горноспасательного оборудования им. Петровского (г. Донецк), где конструкция и распылительные патроны модернизированы под условия применения в угольных шахтах, и летом 2013 г. демонстрировалась на выставке «Уголь Украины – 2013». Получены заказы, выполнению которых помешала гражданская война. Выпущенная опытно-промышленная партия успешно применялась при тушении пожаров от обстрелов в г. Донецке и в тоннелях аэропорта для решения специальных задач.

4. В 1982–1983 гг. в Штабе горноспасательных частей Урала, Минцветмет (г. Екатеринбург) спроектирована ММ-8 на тележке шахтной вагонетки для дистанционного тушения пожаров в штреках. Результаты испытаний показали, что при залпе из всех стволов распыляется 120 кг инертной пыли и создается газопылевой вихрь с широким фронтом по всему сечению штрека, установлена дистанция эффективного тушения не менее 150–175 м в тоннеле.

Промышленное производство шахтных модулей дистанционного тушения и предотвращения взрывов при Штабе продолжалось до распада СССР.

5. В 1989–1991 гг. успешно проведена научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа с 9-ГУ КГБ СССР по созданию экологически чистых систем тушения для кабельных тоннелей подземных правительственных сооружений. Тема закончилась успешным демонстрационным испытанием системы на опытном участке подземного сооружения в присутствии представительной комиссии.

Высокие огнетушащие характеристики: дальность, масштаб и эффективность систем импульсного тушения выстрелами и залпами объясняются новым ударно-волновым механизмом распыления с созданием огнетушащих газокапельного шквала или газопылевого (порошкового) вихря с широкими фронтами. Они играют основную роль в тушении – быстро скользят по большой площади и тушат за счет ударного разрушения горящего поверхностного слоя, проникающего напыления огнетушащих частиц в зону горения, высоких скорости, концентрации и микrorазмеров частиц ОС во фронте. Такое тушение осуществляется быстро с минимальными, удельными расходами ОС, близких к теоретически необходимым. Импульсные, ударно-волновые системы дистанционной подачи ОА потенциально превосходят все иные системы тушения пожаров по качеству создания локализирующих струй и потоков – их размерам, кинетической энергии, направленности действия и степени диспергирования распыляемого ОС.

Фактически создаются направленные газопорошковые вихри и газокапельные шквалы, имитирующие природные и превосходящие по кинетической энергии пламя и потоки дыма. Это, в свою очередь, определяет эффективность и масштабы тушения. В основном эффективность тушения определяется процессом движения фронта шквала (вихря), его плотностью, размерами, скоростью и углом встречи с горящей поверхностью и не связана с длительным процессом равномерного, постепенного распределения ОА по горящей площади при подаче ОА узкими струями. При импульсном тушении важно, что масштаб площади огнетушащего фронта газокапельного шквала (газопорошкового вихря) имеет один порядок с горящей площадью. Именно такое соотношение масштабов тушения и горения впервые позволяет определить достаточно точно основные параметры тушения: период и расход ОА, в зависимости от того какое число шквалов (вихрей) надо, чтобы их фронты последовательно перекрыли всю горящую площадь.

Соотношение скоростей полного перекрытия и повторного возгорания показывает дополнительное число шквалов для ликвидации повторного возгорания. Если тушение всей горящей площади осуществляется серией залпов с секундными интервалами, влиянием повторного воспламенения можно пренебречь. Необходимо отметить, что при струйном, длительном тушении влияние повторного воспламенения в десятки и сотни раз увеличивает удельные расходы ОА до такой степени, что приносимый ими ущерб (например, порча технологического оборудования и материалов) становится сравнимым с ущербом от пожара. Особенно велик ущерб от тушения при использовании токсичных ОА.

Технология импульсного распыления ОА связана с устойчивостью, повторяющегося от залпа к залпу процесса формирования широких фронтов шквалов (вихрей), релаксацией ударных волн при ускорении ОА, частичным испарением капель и сгоранием частиц ОА в высокоскоростных потоках раскаленного газа, направленностью распыления ОА из различных распылительных устройств, например стволов в одном залпе [3, 5].

### **История создания импульсной техники тушения**

С конца 40-х гг. XX в. активно разрабатываются методы тушения пожаров при помощи ракет, снарядов, авиабомб, снаряженных ОА вместо заряда взрывчатого вещества (ВВ). Однако такие огнетушащие боеприпасы были малоэффективны для тушения реальных

пожаров и их применение сопровождалось большими площадями разрушающего и поражающего воздействий. Поэтому с середины 1960-х гг. разрабатывались специальные пневматические и пиротехнические устройства струйного импульсного распыления, где применялся медленно горящий порох или минизаряды твердого ракетного топлива для замены газового баллона высокого давления и взрывные устройства сферического и полусферического распыления взрывом. С 1979 г. автором В.Д. Захматовым для тушения пожаров, не выполнимого для существующей пожарной техники, предлагался и успешно реализовывался ряд нетрадиционных технических решений. На основе их системного анализа обоснованно вступило в практическое действие новое научное направление – создание оригинальных ствольных систем и огнетушащих боеприпасов к ним: унитарных и раздельно-гильзовых. Началось внедрение боеприпасного подхода в импульсном тушении – распыл выстрелом, залпом и направленным взрывом. По мере поступления практических заказов развилось три основных направления (рис. 1):

1. Ствольные и многоствольные огнетушители.
2. ММ стационарные и возимые на шасси танков, САУ, автомобилей бронированных грузовых и джипов.
3. Тушащие авиационные контейнеры, прицельно сбрасываемые с самолетов, вертолетов, и подвесные для вертолетов и кранов. Последние созданы 1–2 мая 1986 г. в зоне г. Чернобыля для решения уникальной задачи безлюдного тушения самого опасного и масштабного радиоактивного пятна в зоне – «Рыжий Лес» – 11–12 га густого сосняка с уровнем радиации до 2 500 рентген/ч. Первая промышленная партия произведена в июле 1986 г. на п/я В-8379 и испытана перед транспортировкой в г. Чернобыле на п/я Г-4162.



1

2

Рис. 1. 1 – Ствольный пневмоимпульсный модуль на салазках;  
2 – Многоствольные пиротехнические модули на салазках и лафете, впервые способны создавать масштабно, эффективно и быстротушащие газокапельные шквалы, газопорошковые вихри, газопесчаные смерчи

Такие системы пожаротушения также получили название импульсно-вихревых или ударно-волновых [3]. По мощности [3, 5] и эффективности пожаротушения они потенциально многократно превосходят наиболее совершенные образцы традиционных пневматических и гидравлических пожарных машин. Пожарные ММ на шасси шахтной вагонетки применялись в шахтах Минцвммета (г. Свердловск) и Минуглепрома (г. Караганда); в 1988 г. ММ применялись для тушения куста горящих скважин на морской нефтедобывающей платформе на Нефтяных Камнях (Каспийское море); с 1984 г. ММ применялись при тушении пожаров на артиллерийских складах; с 1985 г. мини-ММ и взрывные распылители, стационарно размещаемые, применялись для тушения возгораний на технологических линиях производства взрывчатых веществ (ВВ) и снаряжения боеприпасов.

Таблица

Сравнение пожарных машин, установленных на колесном и гусеничном военном шасси

Виды => Параметры	Гидравлика традиционные // Импульсная пневматика							Холостой патрон	
	ГПМ-54 Укр-РФ	SPOT-55 Чехия	МТЛБ Укр	Т-119 Китай	5-ствол. Укр	IFEX-Леопард-1 Германия	5-ствол. Т-55 РФ	Ветлуга Россия	Импульс/ММ-9 Китай
$M_{общ}$ , т	43	42,5	40	18	31	45	43	25	ММ-8 / ММ-16 на Шахтной вагонетке
$L_{туш.}$ , м	15–20	50	15–20	35	30	45	40	50	36/21,6
$V_{подач.}$ , кг/с	40	2x70	40	60	20	20	20	30	150/250 в тоннеле
$S_{туш.}$ , м <sup>2</sup>	180–200	300–400	200–250	150	350	1 500	1 500	250–300	200/0,1 с
$M_{вода}$ , т	10 бак	12 башня	10	5	9	10	10	330	4 500–3 000
Распыляемый состав	Вода макрокапли	Порошок	Порошок	Порошок	Вода микрокапли	Вода микрокапли	Вода микрокапли	Вода, раствор, гель микро-нано-капли	1 200/2 500
$T_{перез.}$ , мин	60	60	25	25	200	35	30	25	1 000–1 250
Цена, тыс. долл.	110	390	145	120	350	1 200	250	200	25/3
Тактико-технические характеристики	Аналоги гражданских поливочных машин: громоздки, тяжелы, маломаневренны, низкоэффективны для масштабного микрораспыла, сложны в управлении, мало автономны из-за больших удельных расходов огнетушащих агентов, низкой дальности распыла, отсутствия систем защиты экипажа с целью увеличить возимый запас воды. Дороги в производстве и работе. Ремонтируются только специалистами от фирмы-изготовителя							Маломощный залп 2 ствола, малый радиус площади тушения	Микрораспыл дальний, масштабный, автономная длительная работа в зонах катастроф, маневренное шасси, системы химической, радиационной бактериологической защиты экипажа

Примечание: ОС – огнетушащий состав; ОПС – порошок ОС; М – масса;  $V_{туш.}$ ,  $L_{туш.}$  – скорость, дальность, площадь тушения;  $V_{перез.}$  – время перезарядки

Более совершенной является гусеничная пожарная машина (ГПМ) «Импульс-3» с башенным 50-ствольным модулем на шасси танка Т-62, в каждом стволе которой размещены распылительные заряды с электроинициаторами, не более 20 кг ОА, зависимо от его параметров: плотности, влажности, заряжания в канал ствола в контейнерах – жидкие, вязкие, порошковые или непосредственная загрузка песка, грунта в канал ствола с фиксацией загруженной массы пыжами с обеих сторон. «Импульс-3М» создана по заданию Главного ракетно-артиллерийского управления (ГРАУ) МО СССР для дистанционного (с относительно безопасных расстояний до 100 м) тушения горящих штабелей боеприпасов. Шасси мало изменено: убраны боеукладки, увеличен свободный объем обитаемого отделения, ускорена эвакуация экипажа, сохранены фильтры очистки воздуха от токсичных и радиоактивных пылей, аэрозолей и броня, защищающая от снарядов, обрушений и крупных осколков. Замена башни с орудием на ММ облегчило шасси на 3–5 т, повысило скорость и маневренность «Импульс-3М», позволило навесить теплоотражательные экраны, импульсные распылители внешнего охлаждения, внутренней пожаровзрывозащиты обитаемого и моторного отделений. Стволы многоствольной установки могут заряжаться различными ОС: жидкостями, растворами, гелями, порошками и сыпучими материалами, что впервые позволит машине комбинированно, эффективно тушить и ликвидировать последствия аварий.

С 1992–1994 гг. на практике применяется «Импульс-3» (рис. 2), 15 гусеничных бронированных пожарных машин (ГПБМ) успешно эксплуатировались 20–25 лет на атомных электростанциях (АЭС г. Чернобыля, г. Балаково), нефтегазовых и химических объектах на территориях России: Башкортостан, Сызрань НПЗ, АЭС г. Балаково, г. Якутск, Тюменский край, г. Норильск; Украины: зона Чернобыльской АЭС, г. Черкасы, г. Полтава, г. Чернигов и Йемена [4]. Эксперименты с ММ на шахтных вагонетках и лафетах проводились на экспериментальных штреках угольных шахт Донецкого и Карагандинского бассейнов, шахтах цветных металлов Урала, участках тоннелей автомобильных, кабельных, метро, аварийном четвертом блоке объекта «Укрытия» (г. Чернобыль). Локализация и осаждение облаков радиоактивной пыли осуществлялась шквалами тонкораспыленной воды, а локализация осажженной радиоактивной пыли на различных поверхностях проводилась шквалами нефтяной бурды – отходов нефтепродуктов (топлив) с конца мая 1986 г. в Чернобыльской зоне экспериментально, а затем в рамках программы по дезактивации территорий Чернобыльской зоны. Такая технология даже при ограниченном применении спасла множество ликвидаторов Чернобыльской зоны от попадания микрочастиц трансурановых элементов – стронция, цезия, радия, урана, разносимых этой пылью. В 2000–2001 гг. проведены эксперименты по распылу с крыши объекта «Укрытие» инертной пыли и ее осаждение шквалами, создаваемыми двумя «Импульс-3М». Экспериментально определены оптимальные режимы распыла воды, растворов пенообразователей, гелей, порошков для создания газокапельных шквалов, газопорошковых вихрей и газопесчаных смерчей с широкими фронтами. Определен оптимальный диапазон массовых соотношений распылительного, порохового заряда и распыляемого огнетушащего и локализирующего агента, позволяющий достичь наибольших величин дальности метания и площади сплошного распыла и, соответственно, дальности и площади тушения горящих разливов топлив и объема осаждения дыма от этих пожаров [4, 5].

Площадь тушения равна площади распространения фронта шквала газокапельного – каплевидные площади сплошного, эффективного тушения до 500–1 500 м<sup>2</sup> за 1–2 с. Вторая причина высокоэффективного тушения – большая кинетическая энергия и мультивихревая структура фронта потока, обеспечивающая прямое воздействие и проникающее напыление огнетушащего агента в конденсированную зону горения, являющуюся энергетической основой процесса горения. Равномерное напыление множества частиц обеспечивает комбинированное тушение, сочетающее: ударное разрушение структуры высокотемпературной зоны горения, отделение горящих частиц друг от друга огнетушащими частицами, интенсивно охлаждающими горящие частицы, что практически гарантирует отсутствие повторных возгораний, даже от примыкающей соседней горячей площади. Очень важно, что такое эффективное тушение



обеспечивается очень низким удельным расходом ОА –  $M_{уд}=0,25-0,5 \text{ кг/м}^2$ , на 1,5–3 порядка ниже по сравнению со средними удельными расходами  $M_{уд}=10-100 \text{ кг/м}^2$  лучших образцов пожарной техники. Лафетные стволы, используемые в шахтах, обеспечивают расходы более тонны воды на кв. м из-за того, что они не могут обеспечить прямое воздействие огнетушащей струи на обугленную зону горения. Поэтому ММ в условиях подземных тоннелей, штреков, впервые создавая масштабные шквалы (вихри) с мощным фронтом, обладает уникальной возможностью с дальней безопасной дистанции осуществить прямое распыление для комплексного тушения:

1. Сбитие пламени – снижения радиуса теплового поражающего воздействия.
2. Осаждение дыма – снижения радиуса токсичного воздействия.
3. Разрушение структуры и охлаждения конденсированной зоны горения [1, 6].



Рис. 2. 1 – ГБПМ «Импульс-3М» с башенной ММ-50, эскизы ММ на роботе и железнодорожной платформе; 2 – Немецкая пневмоимпульсная ММ-2 на шасси танка «Леопард-1» содержит также 10-тонную цистерну с водой, компрессор высокого давления

ММ в шахтах предназначен для быстрой и эффективной ликвидации следующих ЧС в шахтах:

1. Быстрого тушения, масштабного и дистанционного различных пожаров в шахтах, тоннелях, шахтах ракет и вспомогательных помещений, также других подземных сооружений.
2. Обеспечение эвакуации шахтеров, пассажиров вагонов метро и персонала подземных сооружений.
3. Локализация внезапных выбросов взрывоопасных газов в шахтах.
4. Предотвращение и локализация объемных взрывов газовоздушных и пылевоздушных сред.
5. Локализация, осаждение и дезактивация токсичных облаков и дымовых завес.
6. Локализация угольной пыли путем осаждения облаков и фиксации слоя пыли на различных поверхностях с помощью создания адсорбционных пленок, плотно прилегающих к этим поверхностям [2, 7].

Если запас унитарных контейнеров, содержащих ОС и распылительные патроны, закончился, то есть еще компактные, распылительные патроны – до 500 в боеукладках на 10 перезарядок стволов, заряжаемых после вставления патроном с казенной части ствола, а с дульного среза канал ствола заряжается подручными материалами – грунтом, грязью, песком, водой, включая мутную, пылью, снегом, льдом и др.

Впервые пожарная машина обеспечивает гибко регулируемое по масштабам, дальности и виду тушение, распыляя последовательно различные огнетушащие и защитные составы: жидкие, вязкие, клейкие, гели, порошки и экологически чистые природные материалы. Дополнительно, по желанию заказчика, шасси и установка окрашиваются теплоотражающей, светлой окраской и оснащаются светотеплозащитными экранами. Учитывая опыт гибели машин ГПМ-54 с экипажами при тушении горящих штабелей боеприпасов, новая ГБПМ «Импульс-3» может иметь на внешней броне компактные,

автономные, импульсные распылители воды, гелей, мгновенно создающие пенообразный, теплопоглощающий слой на кузове (броне) машины [1, 8].

Залповое распыление более чем из двух стволов реализовано впервые в мире и реально позволяет моделировать: природные пылевые и песчаные бури с помощью газопылевых и газопесчаных, направленных вихрей; морские шквалы с помощью газожидкостных шквалов, также снежные метели, моделируя снежные направленные заряды. Эти натурные модели отличаются гибко регулируемыми параметрами: кинетическая энергия, ширина и высота фронта вихря, малое время подготовки и осуществления масштабного, мощного тушения; комбинированное тушение с регулируемыми интервалами между подачей различных ОС. Это позволяет высокоточно сбить и потушить интенсивное, мощное пламя сразу на большой площади и с минимальными удельными расходами ОС. Обеспечивается тушение поджогов и масштабных пожаров, в том числе созданных массовым применением зажигательных боеприпасов и огнеметов; предотвращение и локализация объемных взрывов пыле-паро-капельно-газовых облаков, мгновенная постановка светотеплозащитных экранов и маскировочных завес; локализация и дезактивация токсичных выбросов, облаков, осадков; локализация радиоактивной пыли в облаках и осаждаемой на различных поверхностях; локализация и утилизация разливов нефти на воде и побережье (рис. 3).

Залповое распыление многократно снижает отдачу по сравнению с распылением такой же массы из одного ствола, например, при распылении 200 кг огнетушащего порошка (ОП) залпом из 10-стволов «Импульс-3М» по сравнению с распылением 200 кг из одного ствола пневмоимпульсного, одноствольного модуля на салазках, внедренного еще в 80-е гг. в Газпром и широко применяющегося до настоящего времени в отрядах по ликвидации горящих, газовых скважин. При этом дальность распыления при залповом выбросе ОП в 5–6 раз выше – до 100–120 м по сравнению с 20 м из одного ствола. По сравнению с пятитонной порошковой машиной ОП-5 залп из 10 стволов «Импульс-3М» тушит примерно такую же площадь до 1 000 м<sup>2</sup>, следовательно, при залповой импульсной подаче коэффициент полезного действия ОП возрастает в 25 раз [9, 10].

Натурный эксперимент проводился на одноствольных и многоствольных импульсных системах. Контейнеры для метаемых составов объемом 18 л снаряжались порошком марки «ПСБ» с размерами частиц 20–50 мкм, мокрым песком или водой. Контейнеры выполнены из твердой, но хрупкой пластмассы. Они легко разрушаются ударной волной на малые осколки, не обладающие поражающим воздействием и вылетающие за срез ствола не далее 10 м. Метательные заряды изготавливали из дымного пороха марки ДРП-1. Ставилась задача исследовать параметры облака частиц после того, как частицы покинули канал, найти оптимальные условия для обеспечения максимальной дальнобойности системы и площади тушения пожара. Была показана высокая дальнобойность пламегасящей струи и площади тушения пожара при массе метаемого порошка 200 кг и метательного заряда пороха по 0,75 кг в каждом стволе.

Известные пневматические импульсные модули, изготовленные «IFEX-3000», Германия; «TSIS», США – дороги, громоздки, тяжелы, сложны в работе и ремонте, распыляют только воду не далее 20–30 м, поэтому не могут обеспечить надежное и эффективное тушение, осаждение густого дыма и нейтрализацию его токсичности [11].

Компактные ММ могут быть помещены в различные промышленные химические, нефтеперерабатывающие заводы, насосные станции, морские платформы нефтяных скважин, резервуары для нефти и жидкого газа, нефтяные терминалы морских портов, нефтегазовые установки, нефтегазовые насосные станции, машиностроительные заводы на атомных электростанциях. Достоинства данных ММ:

- быстрая подзарядка, простое техническое обслуживание, отсутствие необходимости в высококвалифицированном обслуживании;
- дешевое производство на гражданских заводах, широкий диапазон элементов для сборки.

## Заключение

ММ ударно-волнового, залпового, дальнего, масштабного распыла и тушения близки по конструкции, способу перезарядки и распыла ОС залпами к оружию, поэтому солдаты могут быстро освоить данный вид техники и эффективно применять. Модули в три – пять раз превышают существующую технику по дальности, масштабу, скорости тушения, стабильности и автономности масштабного тушения; компактность позволяет разместить модули на бронированных, гусеничных и колесных шасси, железнодорожных платформах, дрезинах, роботах – тушащих быстро с дальних дистанций. Гусеничные машины с ММ и бульдозерными ножами могут сразу после тушения и предотвращения взрыва неподвижной машины столкнуть ее с дороги и расчистить проезд для колонны. Роботы одногусеничные с ММ и шириной гусеницы до 600 мм устойчивы при распылении залпом, создающим далеко и масштабно тушащий шквал, вихрь, способны проехать к горящей машине по пешеходной дорожке, минуя автомобильную пробку в тоннеле, узкой тропе в лесу на позицию эффективного тушения пожара. Безоткатные ММ могут монтироваться на тельферах под потолком тоннеля, БПЛА, способных пролететь по тоннелю или над узкой дорогой. Новая техника впервые может прибыть к горящему участку тоннеля, узкой дороге в лесу и эффективно потушить пожар. Поэтому эта технология необходима для защиты подземных тоннелей, особенно многокилометровых, колонн техники на узких дорогах.

### Список источников

1. Shcherback M.V., Bondar O.I. New technology of pulse forest fire-fighting // Экологични науки. 2015. № 9. Р. 68–79.
2. Скакун П.П., Крупышев М.А. Усиление систем защиты АЭС и других аварийно опасных объектов на территории России // Технические средства противодействия террористическим и криминальным взрывам: XI Междунар. науч.-практ. конф. 2015. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2015.
3. Комбинированный способ локализации и тушения ползучих лесных и луговых пожаров: пат. 2458716 Рос. Федерация / Гришин А.М., Зима В.П.; заявл. 21.03.11; опубл. 20.08.12. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2458716C1/en> (дата обращения: 25.02.2023).
4. Ventsel A., Parna A. Torud, pommid ja labidad – plahvatuslik tuletoortehnoloogia. Tallinn, Estonia: Inseneeria, 2016. Р. 14–20.
5. Актуальные проблемы навигации на очаг пожара пожарных роботизированных стволов в установках пожаротушения. Часть 1. Предпосылки создания РУП и специфические особенности тушения пожаров ПРС / Л.М. Мешман [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Т. 28. № 3. С. 70–81.
6. Unsettled issues in science and technology domains related to prospective variable-autonomy swarming helicopter robotics for wildland fire management // SAE International Inc., USA. SAE EDGETM Research Reports. 2020.
7. Способ превентивного пожаротушения с последующим подавлением условий для воспламенения топливовоздушных смесей и имеющейся пожарной нагрузки от вторичных источников зажигания: пат. 2783960 Рос. Федерация / Булатов В.О., Чернышов М.В.; заявл. 16.03.21; опубл. 22.11.22, Бюл. № 18.
8. Многоствольный модуль универсального распыления залпом или выстрелами: пат. 2 726 100 Рос. Федерация / Захматов В.Д., Щербак Н.В., Озеров А.В.; заявл. 16.09.19; опубл. 09.07.20. URL: [yandex.ru/patents/doc/RU2726100C1\\_20200709](https://yandex.ru/patents/doc/RU2726100C1_20200709) (дата обращения: 19.12.2022).
9. Способ точного, масштабного тушения пожаров стаями беспилотных летательных аппаратов, создающих мультишквалы, вихри, смерчи: пат. 2 780 170 Рос. Федерация / Захматов В.Д., Щербак Н.В., Чернышов М.В.; заявл. 26.03.21; опубл. 20.09.22, Бюл. № 10.

10. Глобальные вызовы, угрозы и опасности современности. Приоритеты политики обеспечения национальной безопасности России / под общ. ред. А.В. Возженникова. 2-е изд. М.: Изд-во РАГС, 2014. 242 с.

11. Захматов В.Д., Панкратова М.В. Модернизация пожарного поезда на основе новых технологий тушения разливов нефти и нефтепродуктов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 28–35.

### References

1. Shcherback M.V., Bondar O.I. New technology of pulse forest fire-fighting // *Ekologichni nauki*. 2015. № 9. P. 68–79.

2. Skakun P.P., Krupyshev M.A. Usilenie sistem zashchity AES i drugih avarijno opasnykh ob"ektov na territorii Rossii // *Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terroristicheskim i kriminal'nym vzryvam: XI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* 2015. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2015.

3. Kombinirovannyj sposob lokalizacii i tusheniya polzuchih lesnyh i lugovyh pozharov: pat. 2458716 Ros. Federaciya / Grishin A.M., Zima V.P.; zayavl. 21.03.11; opubl. 20.08.12. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2458716C1/en> (data obrashcheniya: 25.02.20230).

4. Ventsel A., Parna A. Torud, pommid ja labidad – plahvatuslik tuletojetehnoloogia. Tallinn, Estonia: Inseneeria, 2016. P. 14–20.

5. Aktual'nye problemy navigacii na ochag pozhara pozharnyh robotizirovannyh stvolov v ustanovkah pozharotushenniya. Chast' 1. Predposylki sozdaniya RUP i specificheskie osobennosti tusheniya pozharov PRS / L.M. Meshman [i dr.] // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2019. T. 28. № 3. S. 70–81.

6. Unsettled issues in science and technology domains related to prospective variable-autonomy swarming helicopter robotics for wildland fire management // SAE International Inc., USA. SAE EDGETM Research Reports. 2020.

7. Sposob preventivnogo pozharotusheniya s posleduyushchim podavleniem uslovij dlya vosplameneniya toplivovozdushnyh smesey i imeyushchejsya pozharnoj nagruzki ot vtorichnyh istochnikov zazhiganiya: pat. 2783960 Ros. Federaciya / Bulatov V.O., Chernyshov M.V.; zayavl. 16.03.21; opubl. 22.11.22, Byul. № 18.

8. Mnogostvol'nyj modul' universal'nogo raspyleniya zalpom ili vystrelami: pat. 2 726 100 Ros. Federaciya / Zahmatov V.D., Shcherbak N.V., Ozerov A.V.; zayavl. 16.09.19; opubl. 09.07.20. URL: [yandex.ru/patents/doc/RU2726100C1\\_20200709](http://yandex.ru/patents/doc/RU2726100C1_20200709) (data obrashcheniya: 19.12.2022).

9. Sposob tochnogo, masshtabnogo tusheniya pozharov stayami bespilotnyh letatel'nyh apparatov, sozdayushchih mul'tishkvaly, vihri, smerchi: pat. 2 780 170 Ros. Federaciya / Zahmatov V.D., Shcherbak N.V., Chernyshov M.V.; zayavl. 26.03.21; opubl. 20.09.22, Byul. № 10.

10. Global'nye vyzovy, ugrozy i opasnosti sovremennosti. Prioritety politiki obespecheniya nacional'noj bezopasnosti Rossii / pod obshch. red. A.V. Vozzhennikova. 2-е изд. М.: Изд-во РАГС, 2014. 242 с.

11. Zahmatov V.D., Pankratova M.V. Modernizaciya pozharnogo poezda na osnove novyh tekhnologij tusheniya razlivov nefi i nefteproduktov // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2022. № 1 (61). S. 28–35.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 27.03.2023; одобрена после рецензирования: 18.04.2023; принята к публикации: 20.04.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 27.03.2023; approved after review: 18.04.2023; accepted for publication: 20.04.2023

*Информация об авторах:*

**Захматов Владимир Дмитриевич**, старший научный сотрудник отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: zet.pulse@gmail.com

**Крутолапов Александр Сергеевич**, 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: krutolapov75@list.ru

**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:*

**Zakhmatov Vladimir D.**, senior researcher at the department of planning, organization and coordination of scientific research at the center for the organization of research and editorial activities of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), professor, doctor of technical sciences, e-mail: zet.pulse@gmail.com

**Krutolapov Alexander S.**, 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), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: krutolapov75@list.ru

**Minkin Denis Yu.**, professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of the Saint-Petersburg university of State fire service 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

Научная статья

УДК 614.843.4

## **ВЫБОР РУЧНОГО ПОЖАРНОГО СТВОЛА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОБОБЩЕННОГО КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ**

**Шкитронов Михаил Евгеньевич;**

✉ **Бесков Максим Сергеевич;**

**Елисеев Игорь Борисович.**

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

✉ **bmsmchs@yandex.ru**

*Аннотация.* Организация и осуществление тушения пожаров является одной из основных задач подразделений пожарной охраны вне зависимости от их вида. Поэтому для успешного ее выполнения необходимо проводить тщательную работу по подготовке специалистов, совершенствованию нормативно-правовой базы в области обеспечения пожарной безопасности, а также улучшать тактико-технические характеристики пожарной и аварийно-спасательной техники. В статье проведен сравнительный анализ ручных пожарных стволов отечественного и иностранного производства, применяемых в подразделениях МЧС России в настоящее время. Для упрощения выбора того или иного ручного пожарного ствола для обеспечения подразделений пожарно-спасательных гарнизонов МЧС России разработан обобщенный комплексный показатель их эффективности. На основании применения комплексного показателя проведено сравнение ручных пожарных стволов отечественного и иностранного производства методом Парето. На основании полученных данных сделан вывод о наиболее оптимальном по тактико-техническим параметрам и соотношению цена/качество ручном пожарном стволе для оснащения подразделений пожарной охраны МЧС России.

*Ключевые слова:* ручной пожарный ствол, тушение пожаров, классификация, характеристики ручных пожарных стволов, локализация, ликвидация, комплексная оценка, безразмерные параметры

**Для цитирования:** Шкитронов М.Е., Бесков М.С., Елисеев И.Б. Выбор ручного пожарного ствола на основе применения обобщенного комплексного показателя // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 127–135.

Scientific article

## **SELECTION OF A MANUAL FIRE BARREL BASED ON THE APPLICATION OF A GENERALIZED COMPLEX INDICATOR**

**Shkitronov Mikhail E.;**

✉ **Beskov Maksim S.;**

**Eliseev Igor B.**

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

✉ **bmsmchs@yandex.ru**

*Abstract.* The organization and implementation of fire extinguishing is one of the main tasks of fire protection units, regardless of their type. Therefore, for its successful implementation, it is necessary to carry out thorough work on training specialists, improving the regulatory framework in the field of fire safety, as well as improving the tactical and technical characteristics

of fire and rescue equipment. The article presents a comparative analysis of manual fire barrels of domestic and foreign production used in the units of EMERCOM of Russia at the present time. Also, in order to simplify the choice of a particular manual fire barrel for providing fire and rescue garrisons of EMERCOM of Russia, generalized complex indicators of their effectiveness have been developed. Based on these data, a comparison of manual fire barrels of domestic and foreign production by the Pareto method was carried out. Thus, based on the data obtained, a conclusion was made about the most optimal, in terms of tactical and technical parameters and price/quality ratio, manual fire barrel for equipping fire departments of EMERCOM of Russia.

**Keywords:** manual fire barrel, fire extinguishing, classification, characteristics of manual fire barrels, localization, liquidation, comprehensive assessment, dimensionless parameters

**For citation:** Shkitronov M.E., Beskov M.S., Eliseev I.B. Selection of a manual fire barrel based on the application of a generalized complex indicator // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 127–135.

## Введение

Подача огнетушащих веществ при пожаротушении является неотъемлемой частью мероприятий по локализации и последующей ликвидации горения [1–4]. Так как основным устройством для подачи огнетушащих веществ является ручной пожарный ствол [5], то к его выбору и тактико-техническим характеристикам следует подходить с особой тщательностью.

Для оценки изделий могут применяться следующие методы:

1. Метод анализа иерархий [6].
2. Метод экспертной оценки [7].
3. Метод комплексного анализа размерностей [8].

Методы анализа иерархий и экспертной оценки сильно зависят от субъективного взгляда экспертов на изделие и их компетентность по данному вопросу. Следует отметить, что данные методы ранее не применялись при построении алгоритма для выбора ручного пожарного ствола.

В работах [9, 10] с помощью метода сравнительного анализа [8] рассмотрены основные технические параметры пожарных стволов и приведены их характеристики, сформирован обобщенный комплексный показатель для оценки ручного пожарного ствола отечественного производства из множества единичных параметров устройства, определяющий наиболее эффективный ствол. В целях совершенствования существующих методов выбора ручных пожарных стволов сформирован обобщенный комплексный показатель для иностранных стволов, что, в свою очередь, на основе диаграммы Парето позволило выбрать ствол, обладающий лучшими характеристиками [11].

В работах [12–16] даны сведения о ручных пожарных стволах отечественного производства, но нет никакой информации о характеристиках ручных пожарных стволов иностранного производства, хотя данные стволы могут входить в комплект вооружения основных пожарных автомобилей.

Целью данной работы является разработка научно-обоснованного подхода к выбору ручных пожарных стволов при использовании метода комплексного анализа размерностей.

## Расчет комплексного показателя качества пожарных стволов

Метод комплексного анализа размерностей параметров качества как способность удовлетворять потребителей рассматривался неоднократно [17, 18], однако для пожарных стволов данный вопрос не раскрывался [9, 10].

Таблица 1

**Исходные и расчетные данные об эффективности ручных пожарных стволов отечественного производства в соответствии с ГОСТ 8.417–2002 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Единицы величин (с поправками)»**

№ п/п	Наименование пожарного ствола	Стоимость, руб.	$\pi_{\text{пож.ст.}}$	Удельное значение безразмерного комплекса $\pi_{\text{пож.ст.}}/\pi_{\text{ср}}$	Удельная стоимость $C_{\text{пож.ст.}}/C_{\text{ср}}$
1	РС-50.01(А)	127	7,26	0,63	0,02
2	РС-70А	441	2,19	0,19	0,05
3	РС-А	1 141	1,66	0,14	0,14
4	РС-50А	247	2,55	0,22	0,03
5	РС-Б	1 141	0,93	0,08	0,14
6	РС-50А(16)	350	1,25	0,11	0,04
7	РСК-50	2 041	0,88	0,08	0,25
8	РСП-50	1 835	1,02	0,09	0,22
9	РС-70АП	300	0,34	0,03	0,04
10	РСП-70АП	1 487	3,88	0,34	0,18
11	ОРТ-50	23 411	1,86	0,16	2,83
12	ОРТ-50А	25 929	4,73	0,41	3,14
13	СРК-50	1 741	0,85	0,07	0,21
14	СКМ-50	14 066	0,18	0,02	1,70
15	СКМ-70	16 773	3,22	0,28	2,03
16	КУРС-8	21 469	9,75	0,85	2,60
17	КУРС-8и	26 177	1,86	0,16	3,17
18	РСП-70	1 287	3,88	0,34	0,16
19	РСКЗ-70	1 922	2,55	0,22	0,23
20	РСКУ-50	12 462	7,18	0,62	1,51
21	РСКО-50	7 889	20,37	1,77	0,95
22	СРП-50А	3 413	4,08	0,36	0,41
23	СРП-50Е	3 392	1,77	0,15	0,41
24	РСКУ-70	14 500	11,99	1,04	1,75
25	РСКО-70	9 000	24,61	2,14	1,09
26	СРКУ-8	13 596	39,58	3,45	1,65
27	СРКУ-20	16 995	149,74	13,03	2,06
Ср. значение		8 264	11,49	1	1

*Примечание:* показатели  $\pi_{\text{пож.ст.}}$  умножены на  $10^{12}$  для информативного чтения таблицы





Рис. 1. Распределение пожарных стволов отечественного производства в зависимости от обобщенного комплексного показателя пожарного ствола  $\pi_{\text{пож. ст.}} \cdot 10^{12}$

Из данных табл. 1 и рис. 1 видно, что наиболее эффективный пожарный ствол отечественного производства под № 27 – СРКУ-20.

Все стволы, рассмотренные при проведении исследования, соответствуют нормативным документам Российской Федерации, а именно: ГОСТ Р 53331–2009 «Техника пожарная. Стволы пожарные ручные. Общие технические требования. Методы испытаний»; 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».

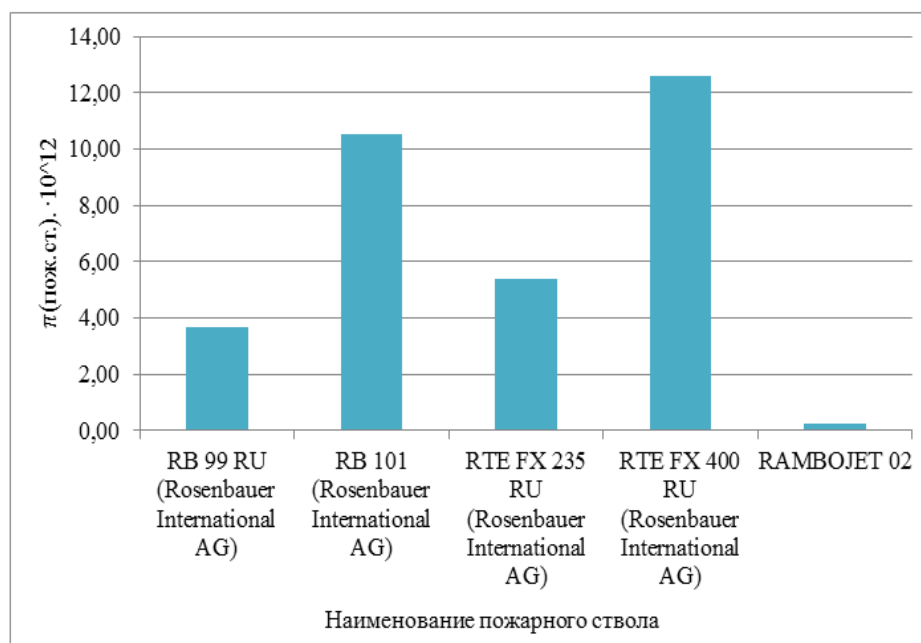


Рис. 2. Распределение пожарных стволов иностранного производства, в зависимости от обобщенного комплекса пожарного ствола  $\pi_{\text{пож. ст.}} \cdot 10^{12}$

**Исходные и расчетные данные об эффективности пожарных стволов иностранного производства в соответствии с ГОСТ 8.417–2002 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Единицы величин (с поправками)»**

№ п/п	Наименование пожарного ствола	Стоимость, руб.	$\pi_{\text{пож.ст.}}$	Удельное значение безразмерного комплекса $\pi_{\text{пож.ст.}}/\pi_{\text{ср}}$	Удельная стоимость $C_{\text{пож.ст.}}/C_{\text{ср}}$
1	RB 99 RU (Rosenbauer International AG)	48 360	3,67	0,57	0,94
2	RB 101 (Rosenbauer International AG)	50 350	10,51	1,62	0,98
3	RTE FX 235 RU (Rosenbauer International AG)	65 470	5,41	0,83	1,28
4	RTE FX 400 RU (Rosenbauer International AG)	69 700	12,59	1,94	1,36
5	RAMBOJET 02	22 500	0,22	0,03	0,44
Ср. значение		51 276	6,48	1	1

*Примечание:* показатели  $\pi_{\text{пож.ст.}}$  умножены на  $10^{12}$  для информативного чтения таблицы. В таблице приведены пожарные стволы, по которым вся информация есть в публичном доступе и на официальных сайтах заводов-изготовителей

Из данных табл. 2 и рис. 2 видно, что наиболее эффективный пожарный ствол иностранного производства под № 4 – RTE FX 400 RU (Rosenbauer International AG).

На рис. 3 значение показателя под № 27 СРКУ-20 не отражено (для лучшей наглядности рисунка), оно входит в квадрант В и имеет самый высокий показатель. Красный квадрат включает в себя следующие номера пожарных стволов: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 18, 19, 22.

### Построение диаграмм Парето

Численные значения показателей, представленные на рис. 3, 4, соответствуют порядковым номерам в табл. 1, 2.

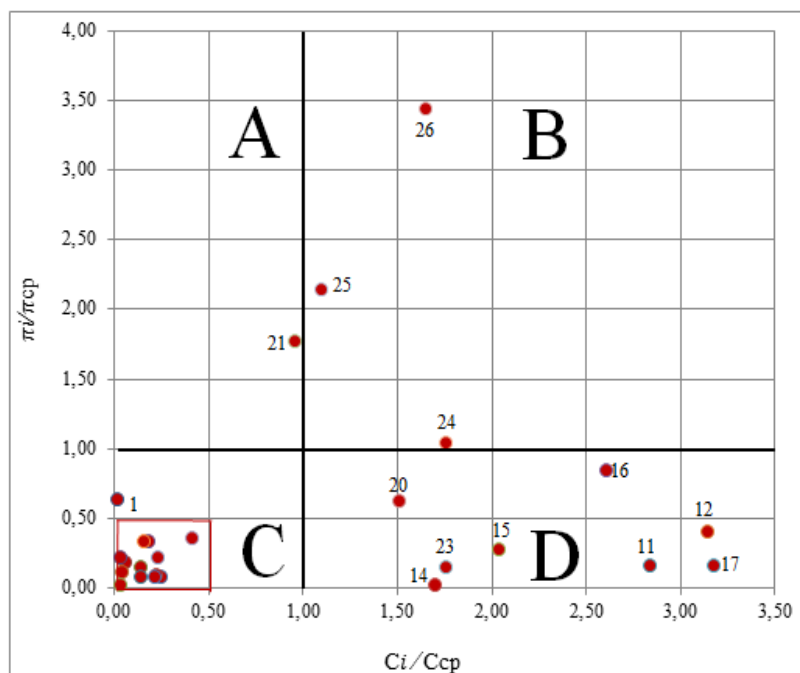


Рис. 3. Оценка эффективности ручного пожарного ствола отечественного производства:  
 $\pi_i$  – обобщенный показатель  $i$ -го ствола;  $\pi_{ср}$  – среднее значение обобщенного показателя ствола;  
 $C_i$  – цена  $i$ -го пожарного ствола;  $C_{ср}$  – среднее значение цены пожарного ствола

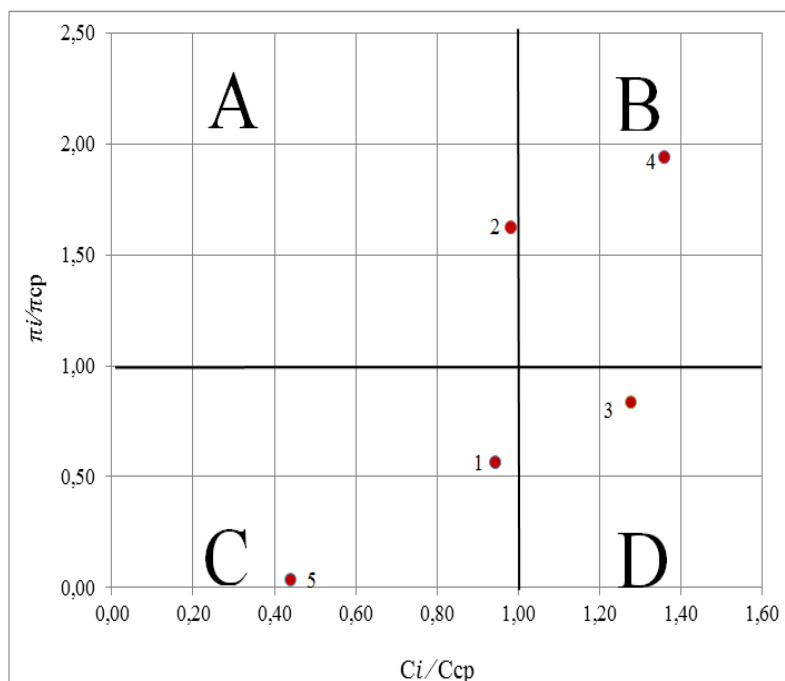


Рис. 4. Оценка эффективности ручного пожарного ствола иностранного производства:  
 $\pi_i$  – обобщенный показатель  $i$ -го ствола;  $\pi_{ср}$  – среднее значение обобщенного показателя ствола;  
 $C_i$  – цена  $i$ -го пожарного ствола;  $C_{ср}$  – среднее значение цены пожарного ствола

Выбор оптимального пожарного ствола следует принимать на основе диаграмм Парето. В соответствии с методом Парето оптимальные ручные пожарные стволы должны иметь наименьшую цену и наибольший эффект [9]. Из рис. 3, 4 следует, что ручной пожарный ствол, находящийся ближе всего к квадранту «А», обладает наибольшей эффективностью. Из них самыми эффективными являются: образец № 27 СРКУ-20 (отечественное производство) и образец № 4 RTE FX 400 RU (Rosenbauer International AG) (иностранный производитель).

### Заключение

Выполнение мероприятий, связанных с тушением пожаров и проведением аварийно-спасательных работ, напрямую зависят от пожарно-технического вооружения и оборудования, профессиональных навыков тушения пожара и устройств для подачи огнетушащих веществ. Таким образом, актуальность вопроса по выбору ручного пожарного ствола не вызывает сомнений. В данной статье рассмотрен один из способов оценки ручных пожарных стволов, позволяющий облегчить их выбор перед постановкой на вооружение в подразделениях МЧС России.

В результате сравнения двух стволов, отечественного и иностранного производства, выбранных по комплексному показателю и диаграммам Парето, предпочтение стоит отдать стволу отечественного производства, так как его цена ниже в четыре раза, при этом заявленные характеристики в разы лучше, чем у иностранного образца.

### Список источников

1. Grant G., Brenton J., Drysdale D. Fire suppression by water sprays // *Progress in energy and combustion science*. 2000. Vol. 26. № 2. P. 79–130.
2. Чугунова Т.М. Применение современных ручных пожарных стволов. Плюсы и минусы // *Академическая публицистика*. Тольятти, 2019.
3. 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. EDN SEVFVS.
4. 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.
5. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году / В.С. Гончаренко [и др.] // *Статистика пожаров и их последствия: статист. сб. М.: ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.*
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
7. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: учеб. в 3-х ч. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. Ч. 2: Экспертные оценки. М., 2011. 486 с.
8. Бриджмен П. Анализ размерностей. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
9. Елисеев И.Б., Новиков В.Р., Бесков М.С. Обзор ручных пожарных стволов, применяемых для тушения пожаров на территории Российской Федерации // *Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика – регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в арктическом регионе: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2022.*
10. 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. 139–147.
11. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето – оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982.

12. Техносферная безопасность. Пожарная тактика. Справочник руководителя пожарно-спасательного подразделения: учеб. пособие / А.А. Баранов; под общ. ред. Б.В. Гавкалюка. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2020. 96 с.
13. Пожарная тактика. Справочник специалиста: учеб. пособие / А.П. Решетов [и др.]. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 140 с.
14. Планирование и организация тушения пожаров. Пожарная тактика. Практика: учеб. пособие / А.П. Решетов [и др.]; под. общ. ред. Э.Н. Чижикова. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 104 с.
15. Терещенков В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М.: Пожжнуга, 2004. 256 с.
16. Справочник начальника караула пожарной части: справ. 5-е изд. перераб. и доп. / А.А. Мельник [и др.]. Красноярск: Сибирская пож.-спасат. акад. ГПС МЧС России, 2019. 176 с.
17. Кожевников Д.Ф. Методика комплексной оценки эффективности огнетушителей: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2011. 167 с.
18. Филиновский 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.

## References

1. Grant G., Brenton J., Drysdale D. Fire suppression by water sprays // Progress in energy and combustion science. 2000. Vol. 26. № 2. P. 79–130.
2. Chugunova T.M. Primenenie sovremennyh ruchnyh pozharnyh stvolov. Plyusy i minusy // Akademicheskaya publicistika. Tol'yatti, 2019.
3. 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. EDN SEVFVS.
4. 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.
5. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu / V.S. Goncharenko [i dr.] // Statistika pozharov i ih posledstviya: statist. sb. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2022. 114 s.
6. Saati T. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij: per. s angl. R.G. Vachnadze. M.: Radio i svyaz', 1993. 278 s.
7. Orlov A.I. Organizacionno-ekonomicheskoe modelirovanie: ucheb. v 3-h ch. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2009. Ch. 2: Ekspertnye ocenki. M., 2011. 486 s.
8. Bridzhmen P. Analiz razmernostej. Izhevsk: NIC «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika», 2001.
9. Eliseev I.B., Novikov V.R., Beskov M.S. Obzor ruchnyh pozharnyh stvolov, primenyaemyh dlya tusheniya pozharov na territorii Rossijskoj Federacii // Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy. Arktika – region strategicheskikh interesov: pravovaya politika i sovremennye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti v arkticheskom regione: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb., 2022.
10. Brusyanin D.V., Novikov V.R., Beskov M.S. Formirovanie obobshchennogo kompleksnogo pokazatelya ruchnyh pozharnyh stvolov, primenyaemyh dlya tusheniya pozharov na territorii Rossijskoj Federacii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 4 (64). S. 139–147.
11. Podinovskij V.V., Nogin V.D. Pareto – optimal'nye resheniya mnogokriterial'nyh zadach. M.: Nauka, 1982.
12. Tekhnosfernaya bezopasnost'. Pozharnaya taktika. Spravochnik rukovoditelya pozharno-spasatel'nogo podrazdeleniya: ucheb. posobie / A.A. Baranov; pod obshch. red. B.V. Gavkalyuka. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2020. 96 s.
13. Pozharnaya taktika. Spravochnik specialista: ucheb. posobie / A.P. Reshetov [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2019. 140 s.

14. Planirovanie i organizaciya 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.
15. Terebnev V.V. Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara. Takticheskie vozmozhnosti pozharnyh podrazdelenij. M.: Pozhkniga, 2004. 256 s.
16. Spravochnik nachal'nika karaula pozharnoj chasti: sprav. 5-e izd. pererab. i dop. / A.A. Mel'nik [i dr.]. Krasnoyarsk: Sibirskaya pozh.-spasat. akad. GPS MCHS Rossii, 2019. 176 s.
17. Kozhevnikov D.F. Metodika kompleksnoj ocenki effektivnosti ognetushitelej: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2011. 167 s.
18. Filanovskij A.M. Metodika kompleksnoj ocenki effektivnosti gidravlicheskogo avarijno-spasatel'nogo instrumenta, primenyaemogo pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij na transporte: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2013. 125 s.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 16.02.2023; одобрена после рецензирования: 13.04.2023; принята к публикации: 19.04.2023

#### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 16.02.2023; approved after review: 13.04.2023; accepted for publication: 19.04.2023

#### *Информация об авторах:*

**Шкитронов Михаил Евгеньевич**, старший научный сотрудник отдела испытаний и разработки научно-технической продукции в области пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат педагогических наук, доцент, e-mail: shkitronov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7887-0530>

**Бесков Максим Сергеевич**, старший 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>

**Елисеев Игорь Борисович**, старший преподаватель кафедры специальной подготовки Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: eliseeff.gosha2014@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6199-5687>

#### *Information about the authors:*

**Shkitronov Mikhail E.**, senior researcher of the department of testing and development of scientific and technical products in the field of fire safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of pedagogical sciences, associate professor, e-mail: shkitronov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7887-0530>

**Beskov Maxim S.**, senior 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>

**Yeliseev Igor B.**, senior 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), candidate of technical sciences, e-mail: eliseeff.gosha2014@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6199-5687>

Научная статья

УДК 614.841

## **ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ**

✉ Королева Людмила Анатольевна;

Ивахнюк Григорий Константинович.

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

Малыгин Игорь Геннадьевич.

Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук,

Санкт-Петербург, Россия

✉ [koroleva.l@igps.ru](mailto:koroleva.l@igps.ru)

*Аннотация.* Среди основных направлений устойчивого развития локомотивной тяги железнодорожного транспорта важная роль принадлежит обеспечению пожарной безопасности. Цель исследования – провести оценку пожарной опасности локомотивов, работающих на различных источниках энергии, и определить перспективы развития локомотивной тяги. Пожарную безопасность локомотивов необходимо рассматривать во взаимосвязи с их другими характеристиками. Необходим системный подход, для реализации которого применен метод анализа иерархий. Обоснованы его преимущества. Представлена декомпозиция в иерархию задачи анализа перспектив развития локомотивной тяги. Приведена методика расчета. Доказана статистическая значимость полученных результатов. Сформированы критерии, дана их характеристика. Определено оптимальное количество критериев для проведения обоснованных численных сравнений. Использование метода анализа иерархий позволило выявить взаимное влияние и важность рассмотренных критериев, определить место критерия «Пожарная безопасность» в системе приоритетов развития локомотивной тяги. Проведено сравнение локомотивов, работающих на различных источниках энергии, по критерию «Пожарная безопасность». На основе построенной системы глобальных приоритетов определены перспективы развития локомотивной тяги.

*Ключевые слова:* устойчивое развитие, железнодорожный транспорт, локомотивы, пожарная безопасность, пожар, метод анализа иерархий, источник энергии

**Для цитирования:** Королева Л.А., Ивахнюк Г.К., Малыгин И.Г. Оценка пожарной опасности и перспективы развития локомотивной тяги с использованием системного подхода метода анализа иерархий // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 136–147.

Scientific article

## **FIRE HAZARD ASSESSMENT AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF LOCOMOTIVE TRACTION USING A SYSTEMATIC APPROACH OF THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD**

✉ Koroleva Ludmila A.;

Ivakhnyuk Grigoriy K.

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

Malygin Igor G. N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy

of sciences, Saint-Petersburg, Russia

✉ [koroleva.l@igps.ru](mailto:koroleva.l@igps.ru)

*Abstract.* Among the main directions of sustainable development of locomotive traction

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

of railway transport, an important role belongs to ensuring fire safety. The purpose of the study is to assess the fire hazard of locomotives operating on various energy sources and to determine the prospects for the development of locomotive traction. Fire safety of locomotives should be considered in relation to their other characteristics. A systematic approach is needed, for the implementation of which the hierarchy analysis method is used. Its advantages are proved. The decomposition into a hierarchy of the task of analyzing the prospects for the development of locomotive traction is presented. The calculation method is given. The statistical significance of the obtained results is proved. Criteria are formed, their characteristics are given. The optimal number of criteria for conducting reasonable numerical comparisons has been determined. The use of the hierarchy analysis method made it possible to identify the mutual influence and importance of the criteria considered, to determine the place of the «Fire safety» criterion in the system of priorities for the development of locomotive traction. The comparison of locomotives operating on various energy sources according to the criterion of «Fire safety» is carried out. On the basis of the constructed system of global priorities, the prospects for the development of locomotive traction are determined.

**Keywords:** sustainable development, railway transport, locomotives, fire safety, fire, hierarchy analysis method, energy source

**For citation:** Koroleva L.A., Ivakhnyuk G.K., Malygin I.G. Fire hazard assessment and prospects for the development of locomotive traction using a systematic approach of the hierarchy analysis method // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 136–147.

## Введение

В настоящее время транспорт является основным средством экономического роста, международной торговли, установления взаимодействия между регионами, социального развития и т.д. [1, 2]. Зависимость общества от различных видов транспорта увеличивается. Лидирующие позиции по перевозкам грузов и пассажиров занимает железнодорожный транспорт. Учитывая значительное влияние железнодорожного транспорта на основные сферы жизни общества и страны в целом, актуальным является устойчивое развитие железнодорожной отрасли, достижение которого возможно только при комплексном решении экономических, социальных проблем и вопросов обеспечения безопасности [3–5]. Среди основных направлений устойчивого развития важная роль принадлежит обеспечению пожарной безопасности (ПБ). Высокая транспортная нагрузка, большие объемы пассажиро- и грузопотоков определяют значительные последствия пожаров [6, 7].

Важным элементом железнодорожного транспорта являются локомотивы. Реализация концепции устойчивого развития и решение вопросов о перспективах развития локомотивной тяги требует оценки ПБ и разработки мероприятий, направленных на ее повышение.

Цель исследования – провести оценку пожарной опасности локомотивов, работающих на различных источниках энергии, и определить перспективы развития локомотивной тяги.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведен анализ статистических данных о пожарах на локомотивах.
2. Представлена сравнительная оценка пожарной опасности локомотивов, использующих различные источники энергии.
3. Обоснованы критерии и проведена оценка перспектив развития локомотивной тяги с использованием метода анализа иерархий (МАИ).
4. Определена роль обеспечения ПБ локомотивов в системе глобальных приоритетов стратегии развития локомотивного парка.



## Материалы и методы

Оценку пожарной опасности локомотивной тяги проводили на основании статистических и литературных данных о пожарах [1–11]. Однако ПБ локомотивов нельзя рассматривать, не учитывая, например, их энергетическую и экономическую эффективность, загрязнение окружающей среды в процессе эксплуатации. Необходим системный подход, для реализации которого при оценке перспектив развития локомотивной тяги применен МАИ, разработанный Томасом Саати [12].

Реализация МАИ предполагает опрос экспертов, в качестве которых были приглашены наиболее опытные работники, занимающиеся эксплуатацией локомотивов, разработкой нового подвижного состава, профессорско-преподавательский состав профильных вузов.

Успешное использование МАИ в других областях (например, исследования транспортной системы, решение экологических проблем) позволило оценить его преимущества, основными из которых являются: системность, возможность учета множества факторов и выявления из них приоритетных, определяющих дальнейшее развитие локомотивной тяги, использование знаний экспертов для компенсации недостаточности базы исходных данных.

Локомотив выбран в качестве общей цели, он располагается на первом (высшем) уровне. Критерии, уточняющие цель, формируют второй уровень. На третьем (нижнем) уровне расположены типы двигателей локомотивов, отличающиеся источником используемой энергии. Их необходимо оценить по отношению к критериям второго уровня.

Последовательность действий, направленных на анализ перспектив развития локомотивов, работающих на различных источниках энергии, выявление приоритетов, оценку ПБ с использованием МАИ, представлена на рис. 1.



Рис. 1. Последовательность действий при использовании МАИ для анализа перспектив развития локомотивов и оценки их ПБ

Для проведения субъективных парных сравнений и сравнительной оценки важности критериев они сравнивались в парах. Использовалась индексная шкала от 1/9 до 9, обоснование которой приведено в работе [12].

Применение МАИ позволило оценить место, которое занимают вопросы обеспечения ПБ при обосновании направлений развития локомотивной тяги.

### Результаты исследования и их обсуждение

Пожары на локомотивах возникают с достаточной регулярностью, их количество остается высоким (рис. 2). Например, в декабре 2021 г. на перегоне станций Безенчук – Мыльная загорелся локомотив грузового поезда, который был сформирован из 65 вагонов с сырой нефтью. Время тушения составило 1 ч 20 мин. Пострадавших не было. Причиной возгорания стала неисправность электропроводки в локомотиве. В октябре 2021 г. возник пожар на тепловозе грузового поезда в Кировской обл. на перегоне Яр – Зуевка. Пострадавших не было. Причиной возгорания стала неисправность турбокомпрессора. В июле 2021 г. произошло возгорание в одной из секций локомотива грузового поезда, находившегося на запасных путях на станции Базаиха в г. Красноярске. Площадь пожара составила 80 м<sup>2</sup>. Никто не пострадал.

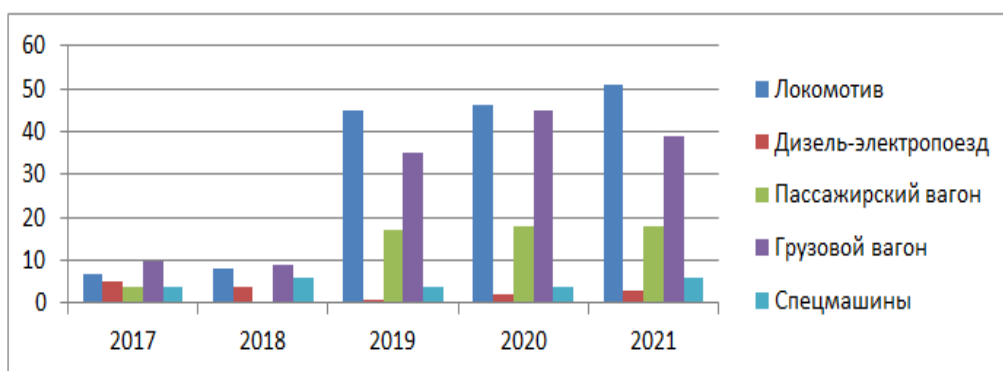


Рис. 2. Динамика пожаров по видам подвижного состава [6, 8, 9]

Исследование пожаров, произошедших на локомотивах, показывает, что пожары на тепловозах происходят в 1,4 раза чаще, чем на электровозах [6, 8, 9]. Короткое замыкание в силовых и вспомогательных сетях и неисправность топливопровода лидируют среди причин пожаров на тепловозах (рис. 3). Неисправность тягового электродвигателя и высоковольтных цепей следует рассматривать в качестве основных причин пожаров на электровозах (рис. 4).

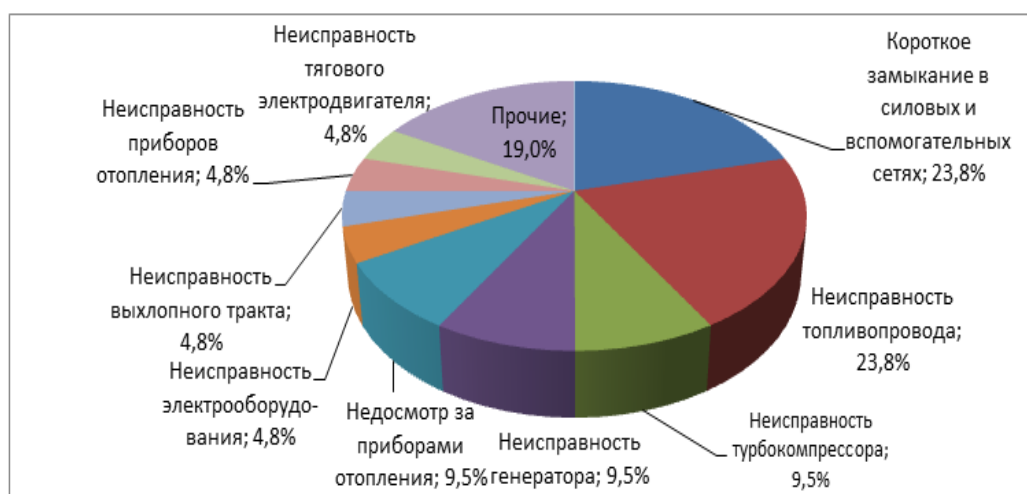


Рис. 3. Распределение причин пожаров на тепловозах

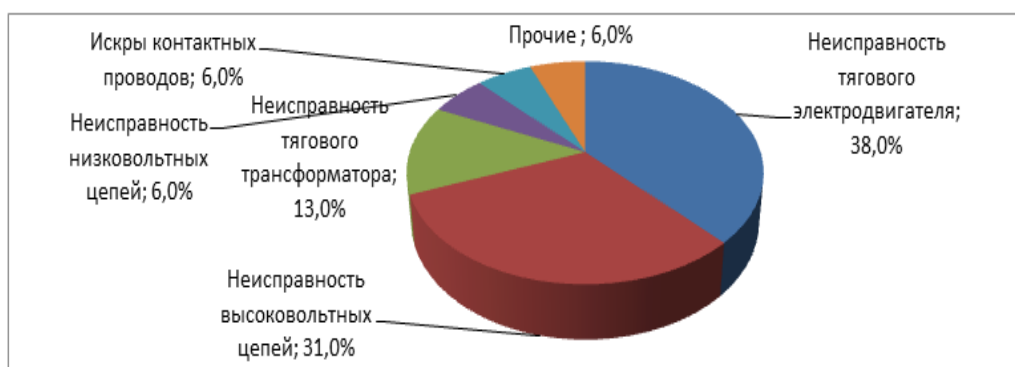


Рис. 4. Распределение причин пожаров на электровозах

Количество пожаров зависит от серии тепловозов и электровозов (рис. 5).

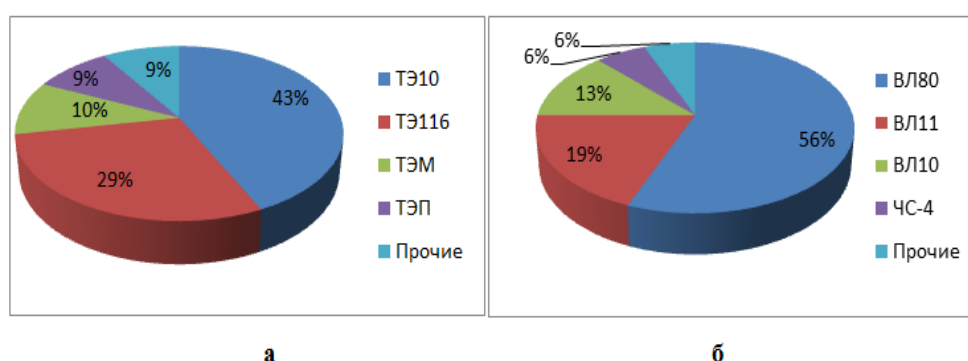


Рис. 5. Количество пожаров по сериям: а – тепловозов; б – электровозов

Одним из наиболее важных факторов, положенных в основу сравнительной оценки обеспечения ПБ, является тип двигателя, который установлен на локомотиве (табл. 1).

Таблица 1

**Сравнительный анализ пожарной опасности локомотивов, использующих различные источники энергии**

Тип двигателя	Пожарная опасность и причины пожаров	Пути снижения пожарной опасности	
		общие	специфические
Дизельный двигатель (ДД)	Зависит от марки топлива и его свойств. Локомотивы работают в условиях повышенной вибрации и тепла. Причины: утечка топлива; перегрев двигателя, связанный, например, с неисправностью системы охлаждения; несоблюдение правил ПБ и др.	Соблюдение правил эксплуатации; правильное хранение и использование легковоспламеняющихся и горючих веществ и материалов; своевременное техническое обслуживание и ремонт; применение огнезащитных материалов и компонентов;	Соблюдение условий хранения и использования дизельного топлива; наличие систем обнаружения утечек топлива; обеспечение исправной работы системы подачи топлива, электрооборудования, их регулярные проверки
Электро-двигатель (ЭД)	Риск возникновения пожара, связанного с топливом или маслом, значительно ниже. Отсутствуют	использование датчиков дыма и температуры;	Соблюдение правил устройства и эксплуатации электрических систем

Тип двигателя	Пожарная опасность и причины пожаров	Пути снижения пожарной опасности	
		общие	специфические
	источники открытого пламени. Причины: короткие замыкания, перегрузки, искры, перегрев оборудования, физические неисправности, неправильное хранение и зарядка аккумуляторов, несоблюдение правил ПБ и др. Возможно быстрое распространение горения по электропроводке	обеспечение эффективной вентиляции и кондиционирования воздуха в кабине машиниста и других закрытых помещениях локомотива; защита оборудования от перегрева;	
Двигатель на водородных топливных элементах (ВД)	Водород – горючий, взрывоопасный газ. Причины: утечки водорода, что связано с размерами молекул H <sub>2</sub> , возникновение электрических разрядов, протекание химических и электрохимических реакций, перегрев оборудования, несоблюдение правил ПБ и др.	наличие систем аварийного отключения и оповещения о пожаре; использование систем автоматического пожаротушения; соблюдение правил пожарной безопасности; обучение персонала правилам безопасности;	Соблюдение условий хранения и использования водородного топлива; применение водородных датчиков для фиксации утечек: предупреждение о возможном риске пожара и (или) взрыва; разработка и принятие мер по предотвращению утечек водорода; обеспечение исправной работы системы получения и подачи водородного топлива
Двигатель на газовом топливе (ГД)	В качестве топлива применяются горючие, взрывоопасные газы. Причины: утечки газа; перегрев оборудования; неправильная эксплуатация системы подачи газа, например, перегрузка двигателя или эксплуатация на неподходящих скоростях, несоблюдение правил ПБ и др.	ограниченность доступа для лиц, не имеющих необходимых навыков и знаний в области безопасности	Соблюдение условий хранения и использования газового топлива; применение детекторов для определения утечек газа; предупреждение о возможном пожаре, взрыве; разработка и принятие мер по предотвращению утечек газа; обеспечение исправной работы системы подачи газового топлива
Гибридный двигатель (ГБ)	Комбинация опасностей, связанных с каждым источником энергии. Причины: неисправности в электрической системе, дизельного двигателя (например, в системе охлаждения), нарушения при хранении и зарядке аккумуляторов; нарушение правил эксплуатации локомотива (например, перегрузка двигателя)		Обеспечение исправного технического состояния каждого источника энергии и соблюдение правил их эксплуатации

Для анализа направлений развития локомотивной тяги и оценке их ПБ были сформированы критерии (табл. 2), количество которых является оптимальным для проведения обоснованных численных сравнений при реализации МАИ [12].

Таблица 2

**Характеристика критериев, предназначенных для оценки перспектив  
развития локомотивной тяги методом МАИ**

Критерий	Расшифровка критерия
ЭЭ – энергетическая эффективность	Отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта. Характеризуется коэффициентом полезного действия и коэффициентом использования мощности
УН – углеродная нейтральность	Выбросы CO <sub>2</sub> и других парниковых газов при эксплуатации локомотивов, получении топливно-энергетических ресурсов
ПБ – пожарная безопасность	Характеризуется возможностью предотвращения возникновения и развития пожара, воздействия опасных факторов пожара на людей и имущество
ФВ – физическое воздействие	Воздействие шума и вибрации на окружающую среду и человека
БЧ – безопасность человека	Безопасность человека при авариях и чрезвычайных ситуациях, возможность предотвращения, охрана труда
ЭЗ – эксплуатационные затраты	Затраты на ремонт локомотивов, на энергоресурсы, часть расходов по текущему содержанию экипировочных устройств, зависящая от количества потребляемого топлива и электроэнергии и т.д.
КО – конструктивные особенности локомотивов и их экипировка	Необходимость обновления и строительства инфраструктуры, возможности внедрения инновационных технических и технологических решений, предназначенных для получения топлива и экипировки локомотивов, автономность, длина полигона безотцепочного следования, габариты и масса силовых установок, накопителей энергии
ОЭ – отходы эксплуатации	Образование отходов эксплуатации (отработанные масла, аккумуляторные батареи, масляные фильтры и т.д.), наличие технологий утилизации, их доступность

Каждый эксперт заполнял одну матрицу второго уровня и восемь матриц третьего уровня, примеры которых представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3

**Пример заполнения матрицы второго уровня**

	ЭЭ	УН	ПБ	ФВ	БЧ	ЭЗ	КО	ОЭ	V <sub>i</sub> , %
ЭЭ	1	3	6	9	4	1/3	2	5	<b>6,03</b>
УН	1/3	1	4	7	2	1/4	4	5	<b>3,48</b>
ПБ	1/6	1/4	1	4	1	1/6	1/3	2	<b>25,13</b>
ФВ	1/9	1/7	1/4	1	1/5	1/9	1/6	1	<b>15,61</b>
БЧ	1/4	1/2	1	5	1	1/5	1/2	4	<b>28,55</b>
ЭЗ	3	4	6	9	5	1	8	5	<b>7,44</b>
КО	1/2	1/4	3	6	2	1/8	1	3	<b>8,46</b>
ОЭ	1/5	1/5	1/2	1	1/4	1/4	1/3	1	<b>5,31</b>

Примечание:  $\lambda_{\max} = 8,947$ ; ИС=0,135; ОС=0,096<0,1

Значение веса критерия V<sub>i</sub>, наибольшее собственное значение матрицы суждений  $\lambda_{\max}$ , индекс согласованности (ИС) и отношение согласованности (ОС) определяли по методике [12].

Таблица 4

**Пример заполнения МПС для третьего уровня по критерию «Пожарная безопасность»**

ЭЭ	ЭД	ДД	ВД	ГТ	ГБ	$V_i, \%$
ЭД	1	1/3	1/5	1/3	1/3	<b>6,1</b>
ДД	3	1	1/3	1/3	1	<b>13,2</b>
ВД	5	3	1	1	3	<b>35,36</b>
ГТ	3	3	1	1	3	<b>31,93</b>
ГБ	3	1	1/3	1/3	1	<b>13,26</b>

Примечание:  $\lambda_{\max} = 5,110$ ; ИС=0,028; ОС=0,025<0,1

Для получения согласованных данных величина ОС не должна превышать 10 %. В отдельных случаях допускается ее увеличение до 20 % [12]. Если ОС более 10–20 %, эксперту предлагалось проверить свои суждения.

Итоговые значения  $V_i$ , обобщенные по результатам опроса всех экспертов, представлены на рис. 6. Критерий «Пожарная безопасность» занимает третье место в системе приоритетов после критериев «Безопасность человека» и «Энергетическая эффективность». Критерий «Эксплуатационные затраты» очень незначительно уступает критерию «Пожарная безопасность» (значения  $V_i$  составляют 13,4 и 13,7 % соответственно).

Итоговая оценка весовых показателей двигателей локомотивов по критерию «Пожарная безопасность» (третий уровень в декомпозиции задачи) представлена на рис. 7.

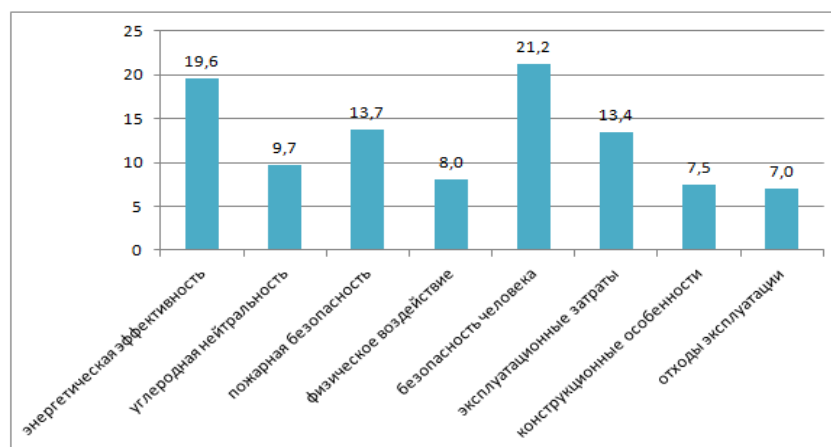


Рис. 6. Итоговые значения весов критериев перспектив развития локомотивной тяги (второй уровень)

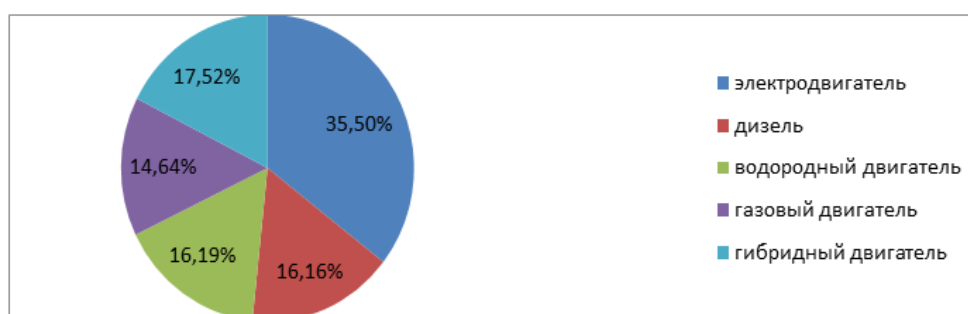


Рис. 7. Итоговая оценка весов двигателей локомотивов по критерию «Пожарная безопасность»

По критерию «Пожарная безопасность» наибольшим приоритетом (с отрывом от остальных типов двигателей более чем в два раза) обладает электродвигатель. Второе место – у гибридных локомотивов. По критерию «Пожарная безопасность» водородный двигатель находится практически на одном уровне с дизельным. Это, на взгляд авторов, определяется высокой взрывопожароопасностью водорода, нерешенностью проблем, связанных с предотвращением его утечек и необходимостью дополнительных мер по обеспечению безопасности.

Выявление глобальных приоритетов и определение перспектив развития локомотивной тяги по всем представленным в табл. 2 критериям дало следующие результаты (рис. 8): наибольший приоритет (34,4 %) принадлежит электродвигателю, на втором месте находятся локомотивы на водородных топливных элементах, дизельный двигатель в системе глобальных приоритетов занимает пятое место.

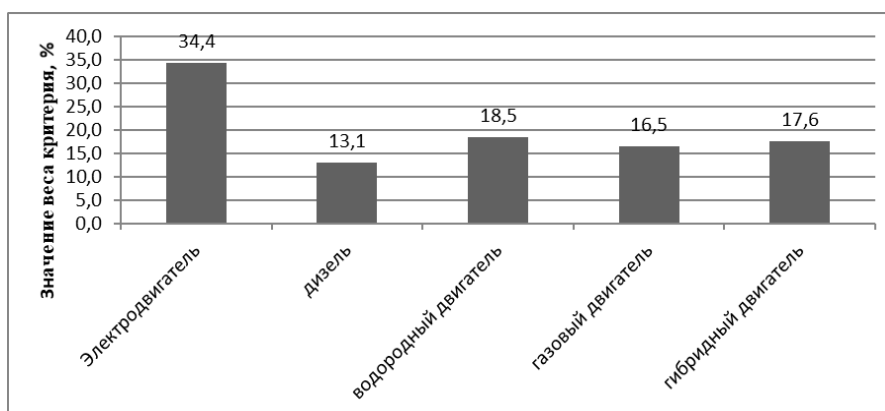


Рис. 8. Глобальные приоритеты развития локомотивной тяги

Однако следует отметить, что, несмотря на низкий рейтинг дизельных двигателей, им принадлежит ведущая роль в обеспечении локомотивной тяги. Планируемый постепенный отказ от закупки дизельных локомотивов «в пользу подвижного состава на альтернативных видах топлива» [13] на сегодняшний день сопряжен со значительными трудностями. В случае, например, с водородными двигателями, основные ограничения связаны с высокой стоимостью получения «зеленого» водорода, отсутствием необходимой инфраструктуры и нерешенностью в полном объеме проблем обеспечения безопасности и др.

При разработке и внедрении стратегий развития локомотивной тяги необходимо учитывать весь спектр существующих проблем. Выявление из них приоритетных позволит осуществлять оптимальное распределение энергетических, экономических, временных и т.д. ресурсов и минимизировать затраты на создание и внедрение перспективных локомотивов.

### Заключение

В работе проведена сравнительная оценка ПБ локомотивов, работающих на различных источниках энергии.

Для реализации системного подхода к оценке перспектив развития локомотивной тяги предложена система критериев и обоснованы преимущества применения МАИ. Использование МАИ позволило выявить взаимное влияние и приоритеты рассмотренных критериев и доказать статистическую значимость полученных результатов.

Критерий «Пожарная безопасность» занимает третье место в системе приоритетов развития локомотивной тяги после критериев «Безопасность человека» и «Энергетическая эффективность».

При оценке локомотивов с точки зрения обеспечения ПБ первое место с большим отрывом от остальных типов двигателей удерживает электродвигатель. Гибриды занимают

второе место. По критерию «Пожарная безопасность» водородный двигатель находится практически на одном уровне с дизельным.

В системе глобальных приоритетов электродвигатель подтвердил наибольшую перспективность в развитии локомотивной тяги. На втором месте находятся локомотивы на водородных топливных элементах. Дизельный двигатель в системе глобальных приоритетов занял пятое место. Однако, несмотря на низкий рейтинг дизельных двигателей, в настоящее время им принадлежит ведущая роль в обеспечении локомотивной тяги.

Вопросы повышения ПБ необходимо решать в комплексе с проблемами повышения энергетической эффективности, снижения эксплуатационных затрат, повышения экологической безопасности и т.д., выявляя их взаимное влияние и приоритеты. На основании полученных результатов должна быть сформирована стратегия устойчивого развития локомотивной тяги.

### Список источников

1. Villa J.C., Boile M., Theofanis S. Trade and transportation relationship // International trade and transportation infrastructure development. 2020. Publ. 1. P. 3–31.
2. Sustainable development goals and transportation modes: analyzing sustainability pillars of environment, health, and economy / V.M. Taghvae [et al.] // World development sustainability. 2022. Vol. 1.
3. Влияние экологической повестки на международные железнодорожные грузоперевозки: информационно-аналитический обзор. URL: <https://index1520.com/> (дата обращения: 01.03.2023).
4. Litman T. Transportation and public health // Annual review of public health. 2013. Vol. 34. P. 217–233.
5. Building urban resilience / A.K. Jha [et al.] // The World bank. 2013.
6. Асламова В.С., Фролова Е.Ю. Системный анализ причин возникновения пожаров на локомотивах ОАО «РЖД» // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 4 (60).
7. Эксергетический подход к оценке энергоэкологической эффективности и пожарной опасности грузовых перевозок на железнодорожном транспорте / Л.А. Королева [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 7-8. С. 43–52.
8. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: стат. сб. Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
9. Шевченко А.И., Денисов В.В. Анализ и оценка состояния пожарной безопасности на объектах ОАО «Российские железные дороги» // Наука и техника транспорта. 2021. № 1. С. 94–102.
10. Гордиенко Д.М., Шебеко Ю.Н. Пожарная безопасность объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта на водородном топливе // Пожаровзрывобезопасность. 2022. № 2. С. 41–51.
11. Hansen O.R. Hydrogen infrastructure – efficient risk assessment and design optimization approach to ensure safe and practical solutions // Process safety and environment protection. 2020. Vol. 143. P. 164–176.
12. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
13. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р. // Министерство транспорта Российской Федерации. URL: <https://mintrans.gov.ru/> (дата обращения: 08.03.2023).

### References

1. Villa J.C., Boile M., Theofanis S. Trade and transportation relationship // International trade and transportation infrastructure development. 2020. Publ. 1. R. 3–31.



2. Sustainable development goals and transportation modes: analyzing sustainability pillars of environment, health, and economy / V.M. Taghvaei [et al.] // World development sustainability. 2022. Vol. 1.
3. Vliyanie ekologicheskoy povestki na mezhdunarodnye zheleznodorozhnye gruzoperevozki: informacionno-analiticheskij obzor. URL: <https://index1520.com/> (data obrashcheniya: 01.03.2023).
4. Litman T. Transportation and public health // Annual review of public health. 2013. Vol. 34. R. 217–233.
5. Building urban resilience / A.K. Jha [et al.] // The World bank. 2013.
6. Aslamova V.S., Frolova E.Yu. Sistemnyj analiz prichin vozniknoveniya pozharovna lokomotivah OAO «RZHD» // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. 2018. № 4 (60).
7. Eksergeticheskij podhod k ocenke energoekologicheskoy effektivnosti i pozharnoj opasnosti gruzovyh perevozok na zheleznodorozhnom transporte / L.A. Koroleva [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2018. T. 27. № 7-8. S. 43–52.
8. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: statist. sb. Balashiha: VNIPO MCHS Rossii, 2022. 114 s.
9. Shevchenko A.I., Denisov V.V. Analiz i oценка sostoyaniya pozharnoj bezopasnosti na ob"ektah OAO «Rossijskie zheleznye dorogi» // Nauka i tekhnika transporta. 2021. № 1. S. 94–102.
10. Gordienko D.M., Shebeko Yu.N. Pozharnaya bezopasnost' ob"ektov infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta na vodorodnom toplive // Pozharovzryvobezopasnost'. 2022. № 2. S. 41–51.
11. Hansen O.R. Hydrogen infrastructure – efficient risk assessment and design optimization approach to ensure safe and practical solutions // Process safety and environment protection. 2020. Vol. 143. P. 164–176.
12. Saati T., Kerns K. Analiticheskoe planirovanie. Organizaciya sistem: per. s angl. R.G. Vachnadze. M.: Radio i svyaz', 1991. 224 s.
13. Transportnaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 17 iyunya 2008 g. № 877-r. // Ministerstvo transporta Rossijskoj Federacii. URL: <https://mintrans.gov.ru/> (data obrashcheniya: 08.03.2023).

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 18.04.2023; одобрена после рецензирования: 27.04.2023;  
принята к публикации: 16.05.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 18.04.2023; approved after review: 27.04.2023;  
accepted for publication: 16.05.2023

*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>

**Ивахнюк Григорий Константинович**, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор химических наук, профессор, e-mail: fireside@inbox.ru

**Малыгин Игорь Геннадьевич**, директор Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук (199178, Санкт-Петербург, 12-я линия В.О., д. 13), доктор технических наук, профессор, e-mail: malygin\_com@mail.ru

*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>

**Ivakhnyuk Grigory K.**, professor of the department of fire safety of technological processes and productions of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of chemical sciences, professor, e-mail: fireside@inbox.ru

**Malygin Igor G.**, director of the N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences (199178, Saint-Petersburg, 12th line V.O., 13), doctor of technical sciences, professor, e-mail: malygin\_com@mail.ru

Научная статья

УДК 614.84

## **СНИЖЕНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ХРАНЕНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛАСТИЧНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОУГЛЕРОДНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ**

✉ Самигуллин Гафур Халафович;

Захаров Александр Евгеньевич.

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

✉ samigullin.g@igps.ru

*Аннотация.* Расширение номенклатуры резервуаров для хранения нефти, нефтепродуктов и других легковоспламеняющихся и горючих жидкостей делает актуальной задачу снижения пожарной опасности нефтебаз и хранилищ. При использовании эластичных полимерных резервуаров решение данной задачи возможно путем повышения стойкости к воздействию высоких температур (термостабильности) и обеспечения прочности полимерных композитов. С этой целью производилось компаундирование полимеров углеродными наноструктурами (астраленами) и проводилась экспериментальная оценка их влияния на повышение термостабильности и механической прочности материалов стенок полимерных эластичных резервуаров.

Исследования проводились методом синхронного термического анализа (включающего термогравиметрический, дифференциально-термогравиметрический методы) и методом механических испытаний одноосным растяжением статической нагрузкой до разрушения с определением предела прочности и модуля Юнга. Было установлено, что для исходных полимерных материалов при температуре 800 °С потеря массы составила свыше 95 %, а для модифицированных образцов (концентрация астраленов 10 % масс.) достигла порядка 70 % масс. Предел прочности и модуль упругости образцов с астраленами повысились в сравнении с исходным материалом в 2,8 и 3,2 раза соответственно.

*Ключевые слова:* эластичные полимерные резервуары, астралены, нефть, нефтепродукты, термостабильность, термический анализ, механические испытания, предел прочности, модуль Юнга

**Для цитирования:** Самигуллин Г.Х., Захаров А.Е. Снижение пожарной опасности при хранении нефтепродуктов в полимерных эластичных резервуарах, модифицированных нанокarbonными компонентами // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 148–158.

Scientific article

## **REDUCTION OF FIRE HAZARD WHEN STORING PETROLEUM PRODUCTS IN POLYMERIC ELASTIC TANKS MODIFIED WITH NANOCARBON COMPONENTS**

✉ Samigullin Gafur Kh.;

Zakharov Alexandr E.

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

✉ samigullin.g@igps.ru

*Abstract.* The expansion of nomenclature of tanks for storage of oil, petroleum products and other flammable and combustible liquids makes the task of reducing the fire hazard of oil depots

and storage facilities urgent. When using flexible polymeric tanks the decision of this task is possible by means of increasing resistance to the influence of high temperatures (thermal stability) and ensuring strength of polymeric composites. For this purpose, polymers were compounded with carbon nanostructures (astralenes) and their influence on increasing thermal stability and mechanical strength of polymer elastic tank walls materials was experimentally evaluated.

Researches have been carried out by a method of simultaneous thermal analysis (including thermogravimetric, differential-thermogravimetric methods) and by mechanical tests by uniaxial tension with static load until failure with determination of ultimate strength and Young's modulus. It was found that for the original polymeric materials at temperature 800 °C mass loss was over 95 %, and for modified samples (10 % wt.% astralenes concentration) reached about 70 % wt.%. The tensile strength and modulus of elasticity of samples with astralenes increased compared to the original material by 2,8 and 3,2 times, respectively.

**Keywords:** elastic polymeric tanks, astralenes, petrol, petroleum products, thermal stability, thermal analysis, mechanical tests ultimate strength, Young's modulus

**For citation:** Samigullin G.Kh., Zakharov A.E. Reduction of fire hazard when storing petroleum products in polymeric elastic tanks modified with nanocarbon components // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 148–158.

## Введение

В современных условиях динамичного развития производственных мощностей возникает насущная необходимость развития материально-технической базы промышленных предприятий и внедрение прогрессивных решений в сфере энергоснабжения. В нефтегазовой сфере все большее применение находит применение полимерных материалов для транспортирования и хранения горючих газов, нефти и нефтепродуктов, например, полимерных трубопроводов, емкостей и резервуаров [1, 2]. Наряду с неоспоримыми преимуществами, такими как: высокая коррозионная стойкость, долговечность, экономичность, простота установки (монтажа) и применения, резервуары для нефти и нефтепродуктов имеют существенные недостатки – это их горючесть и низкие прочностные характеристики [1, 3]. Но при этом ГОСТ 1510–2022 допускает применение эластичных полимерных резервуаров (ЭПР) для хранения ряда нефтепродуктов наравне со стальными вертикальными резервуарами типа РВС [4, 5]. С учетом того факта, что на нефтегазовых объектах только за 2021 г. произошло 42 пожара с материальным ущербом более 5 млн руб. [6], актуальной является задача снижения пожарной опасности при хранении нефти и нефтепродуктов в ЭПР.

Решение данной задачи может быть достигнуто за счет повышения эксплуатационных свойств ЭПР – термостабильности и прочности их стенки путем модифицирования полимерных материалов с добавкой наноуглеродных структур – астраленов. О перспективности такого подхода свидетельствует значительное количество публикаций в области обеспечения пожарной безопасности. Применение астраленов с точки зрения улучшения свойств различных материалов был рассмотрен в различных научных работах [7–12].

При заполнении эластичных полимерных резервуаров нефтепродуктами основными показателями безопасности будут: механическая прочность мягких резервуаров как основной показатель, который обеспечивает герметичность материала при нормальных условиях эксплуатации, а также термостабильность, которая сохранит материал верха от разрушения при воздействии высоких температур.

В связи с этим в данной работе решалась задача по проведению экспериментальной оценки влияния наноуглеродного компонента астралена на улучшение эксплуатационных характеристик: термической стойкости и прочности полимерных композитов, применяемых для изготовления эластичных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.

## Материалы и методы исследования

Для экспериментального изучения вопросов повышения термостабильности и прочности материалов, из которых изготавливаются большинство ЭПР резервуаров, в качестве модельного вещества был использован полимерный композитный материал для горячей вулканизации марки Rema TIP-TOP Solution MTR. Данный композит имеет в своем составе такие соединения, как: этилацетат, углеводороды  $C_6$ – $C_7$ , *n*- и изоалканы, циклические соединения, оксид цинка и циклогексилэтиламин [13]. Выбор модельного вещества был обусловлен широким компонентным составом, схожестью механических характеристик и схожим поведением с полимерными композициями при воздействии повышенных температур, а также простотой внедрения в их состав наночастиц углеродных частиц (астраленов). Методика подготовки образцов с различной концентрацией наночастиц приведена в работе [2]. Использованный для улучшения эксплуатационных свойств композитного материала астрален представляет из себя пространственные углеродные образования «фуллероидного» типа, имеющего многослойную структуру, межслоевое расстояние составляет 0,34–0,35 нм, усредненный оценочный размер частиц 60–200 нм, насыпная плотность астраленов составляет 0,6–0,8 г/см<sup>3</sup>, «...показатель пикнометрической плотности  $2,2 \pm 0,1$  г/см<sup>3</sup> и термобароустойчивость к графитизации при 3 000 °С не менее 50 КБар...» [14].

Экспериментальные исследования проводились в два этапа. На первом этапе проводилась оценка термостабильности модельных образцов методом термического анализа, включающего методы: термогравиметрический (ТГ) и дифференциально-термогравиметрический (ДТГ), а также метод дифференциально-термического анализа (ДТА), который заключается в нагревании или охлаждении образца с определенной скоростью и записи временной зависимости разницы температур между исследуемым образцом и образцом эталоном [15].

На втором этапе проводились механические испытания одноосным растяжением модельных образцов до разрушения статической нагрузкой с определением предела прочности, степени удлинения при разрыве и модуля упругости.

Основная идея проводимого на первом этапе эксперимента заключалась в постепенном нагреве образцов исходного (без модифицирующего компонента) и концентрацией астралена 10 % масс. до температуры 1 000 °С с шагом нагрева 10 °С/мин в воздушной атмосфере и последующим проведением сравнительного анализа сведений по потере массы. Для этого был использован прибор синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3 Jupiter [16], который позволяет улавливать изменение массы исследуемого образца, скорости изменения массы и параметры эндо- и экзотермических процессов в зависимости от изменения температуры во времени при нагревании.

Указанные показатели, характеризующие термостойкость полимеров при различной концентрации астраленов, были получены путем лабораторных испытаний в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53293–2009 «Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа» [17].

На втором этапе были проведены исследования физико-механических характеристик, которые обуславливают прочностные свойства материалов – предел прочности, удлинение при разрыве и модуль Юнга [18]. Данные показатели определяются путем лабораторных испытаний до разрушения на разрывных машинах по методикам испытаний, которые соответствуют требованиям стандартов ГОСТ 14236–81 «Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение» и ГОСТ 11262–2017 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение» [19–21]. Образцы для испытаний были подготовлены с учетом требований ГОСТ 12423–2013 «Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб)» [22]. Для упругих и эластичных материалов, к которым относятся испытываемые образцы, типичный вид диаграммы растяжения приведен на рис. 1.

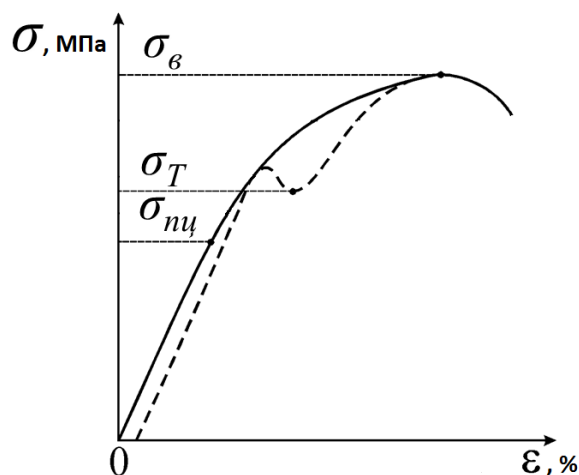


Рис. 1. Диаграмма растяжения эластичных материалов:  $\varepsilon$  – относительные деформации, %;  $\sigma_{\text{в}}$  – предел прочности, МПа;  $\sigma_{\text{пц}}$  – предел пропорциональности, МПа;  $\sigma_{\text{Т}}$  – предел текучести, МПа

Для проведения механических испытаний путем растяжения статической нагрузкой до разрушения образцов была использована разрывная машина электромеханического типа Instron 5966 с пределом точности датчика нагрузки 1 кН [23].

### Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты исследований методом термического анализа приведены на рис. 2 и в табл. 1.

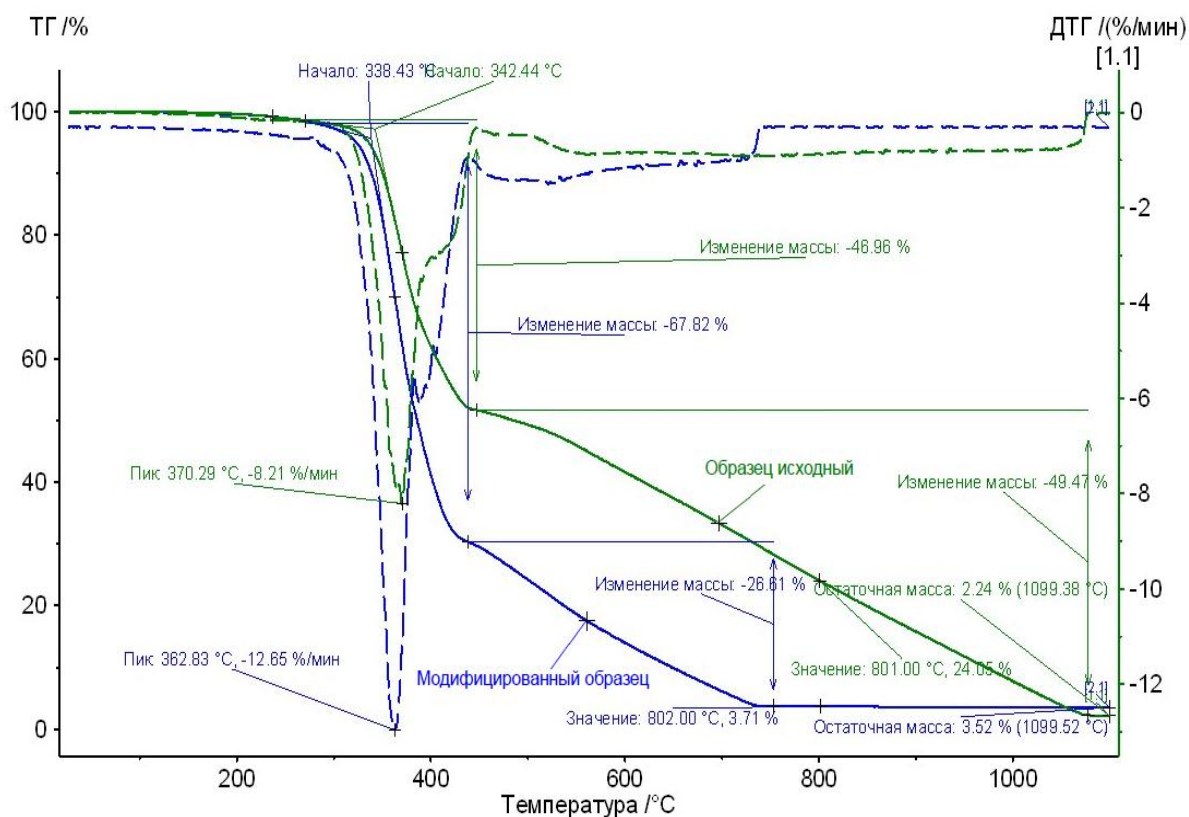


Рис. 2. Термограммы ТГ и ДТГ исследуемых образцов

Из рис. 2 видно, что модификация исходного образца астраленами влияет на скорость разложения материала в диапазоне температур 330–450 °С и на динамику разложения при нагреве выше 450 °С. Для немодифицированного образца процессы разложения полностью завершаются при 802 °С, зольный остаток при этом составляет 3,52 % от начальной массы. Модифицированный образец при той же температуре сохраняет 25–30 % исходной массы.

Таблица 1

### Результаты исследования термогравиметрическим (ТГ-ДТГ) методом

Потеря массы [%]	95	90	80	70	60	50	40	30	20
Температура °С (образец исходный)	336	350,6	366,4	381	405,7	485,6	619,5	734,5	848,8
Температура °С (модифицированный образец)	323,4	338,9	353	362,9	372,6	386	402	443,2	537,4

Как правило, реактопласты разлагаются в два этапа: образование угольного (коксового) остатка и его последующее выгорание. На рис. 3 видно, что для обоих образцов термоокислительная деструкция начинается при температуре порядка 340 °С, процесс завершается при 430–440 °С. Выгорание угольного остатка образца, содержащего астралены, судя по потере массы, продолжается вплоть до 1 100 °С, что, возможно, связано с разложением модифицирующей добавки. Более детально разобрать характеристики поведения материалов при нагреве можно, сопоставляя данные потери массы образцов с результатами дифференциального термического анализа (рис. 3).

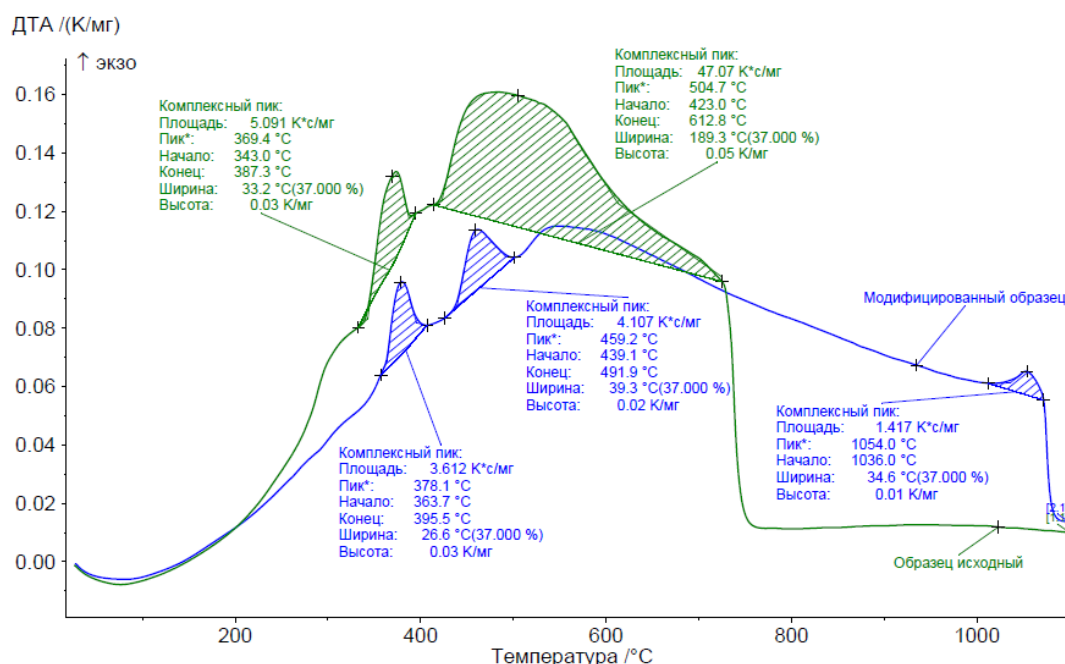


Рис. 3. Кривые ДТА образцов

Первый этап разложения для образцов характеризуется экзотермическим пиком на кривой ДТА. Основные различия проявляются в тепловых эффектах, фиксируемых при нагреве образцов выше 450 °С. В исходном образце наблюдается экзотермический пик, который имеет максимум при температуре 504 °С. На кривых ДТА модифицированного астраленами образца при температуре нагрева выше 450 °С наблюдаются три экзотермических пика: при 459 °С, 550 °С и 1 054 °С соответственно. При этом даже при анализе первой

и второй производной полученной термограммы не удастся четко зафиксировать температурные границы двух последних пиков. На кривой изменения массы в температурных диапазонах, соответствующих данным пикам, не наблюдается перегибов, связанных с началом или завышением химических процессов, что также не позволяет говорить о температурных границах, протекающих в материале изменений. Можно предположить, что в данной области накладываются тепловые эффекты нескольких процессов: как экзотермических, так и эндотермических. Тем не менее можно сказать, что для модифицированного образца наблюдается снижение теплового эффекта, что предположительно может быть объяснено влиянием термодеструкции астраленов, которые в чистом виде начинают терять массу при температуре 580 °С [24].

В результате проведенного исследования методом синхронного термического анализа можно сделать вывод, что модифицированный образец, компаундированный астраленами, показал положительные результаты в части снижения скорости термоокислительной деструкции на первом этапе разложения и интенсивности тепловыделения при последующей деструкции исследуемого образца.

Результаты оценки физико-механических свойств по результатам испытаний образцов на разрыв приведены в табл. 2 и на рис. 4, 5.

Таблица 2

#### Результаты механических испытаний на разрыв

Концентрация астраленов, [% масс.]	Предел прочности, [МПа]	Удлинение при разрыве, [%]	Модуль Юнга, [МПа]
0,0	0,27	285,50	1,07
0,1	0,29	234,700	0,94
1,0	0,33	244,32	1,42
10,0	0,76	363,17	3,41

Анализ приведенных результатов механических испытаний (табл. 2) свидетельствует о значительном изменении физико-механических характеристик образцов. Предел прочности с ростом концентрации астраленов монотонно возрастает от значения 0,274 МПа до 0,763 МПа. Показатель относительного удлинения при разрыве имеет более сложную зависимость, но в конечном итоге также увеличивается с 285 % до 363 %. При этом характерно, что модуль Юнга, характеризующий поведение материала образцов в упругой зоне диаграммы растяжения, увеличивается более чем в три раза. Изменения предела прочности  $R_s$  (МПа) и модуля упругости Юнга  $E$  (МПа), приведенные на рис. 4, 5, с высокой степенью достоверности описываются регрессионными уравнениями, полученными методом наименьших квадратов.



Рис. 4. Экспериментальная зависимость прочности образцов от концентрации астраленов



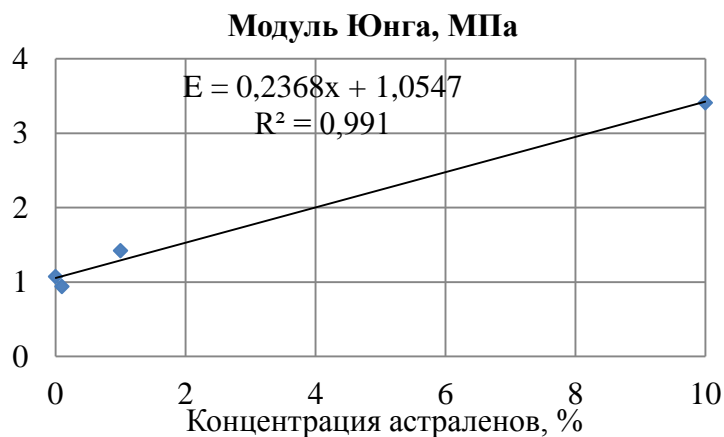


Рис. 5. Экспериментальная зависимость модуля Юнга от концентрации астраленов

Таким образом, в результате оценки физико-механических свойств экспериментальных образцов с различным содержанием углеродных нанокomпонентов можно сделать вывод о том, что прочностные показатели – предел прочности и предел упругости полимерных композитных материалов увеличиваются в 2,8 и 3,2 раза пропорционально содержанию астраленов в диапазоне концентраций от 0 % до 10 % масс.

### Заключение

Результаты проведенных исследований по снижению пожарной опасности при эксплуатации ЭПР путем модифицирования полимерных композитов астраленами показывают, что при увеличении концентрации нанокуглеродных частиц значительно улучшаются показатели термической стабильности полимеров, что видно по значениям остатка массы при высокотемпературной термодеструкции. Кроме того, положительное влияние модифицирующего компонента проявляется в кратном повышении физико-механических показателей прочности и упругости, что должно снизить частоту разгерметизации ЭПР. Таким образом, применение нанокуглеродных компонентов позволяет минимизировать негативные процессы в полимерных резервуарах при воздействии высоких температур, что способствует снижению пожарной опасности на объектах хранения нефти и нефтепродуктов.

### Список источников:

1. Самигуллин Г.Х., Захаров А.Е. Оценка пожарного риска при использовании полимерных эластичных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 4 (60). С. 6–12.
2. Самигуллин Г.Х., Захаров А.Е. Снижение пожарной опасности при использовании полимерных эластичных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 8–16.
3. Прогнозирование дальности действия поражающих факторов и ресурса безопасной эксплуатации резервуаров, изготовленных из полимерного композитного материала, в условиях отрицательных температур / Н.С. Шириева [и др.] // Нефтегазовое дело. 2020. № 1. С. 53–72.
4. Шириева Н.С., Шириев А.К., Тляшева Р.Р. Оценка применения полевого склада горючего на базе эластичных резервуаров на восточно-таймырском лицензионном участке с учетом анализа риска // Нефтегазовое дело. 2017. № 3. С. 169–188.
5. ГОСТ 1510–2022. Межгосударственный стандарт. Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение // Электронный фонд правовой

- и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.04.2023).
6. Пожары и пожарная безопасность в 2021 г.: статист. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
  7. Thermal protection characteristics of polydimethylsiloxane-organoclay nanocomposite / Alex A. Smitha [et al.] // *Polymer degradation and stability*. 2017. Vol. 144. P. 281–291.
  8. Thermal properties and flammability of nanocomposites based on diene rubbers and naturally occurring and activated halloysite nanotubes / P. Rybinski [et al.] // *J Therm Anal Calorim*. 2012. № 107. P. 1243–1249.
  9. Chrissafis K., Bikiaris D. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part I: An overview on thermal decomposition of addition polymers // *Thermochimica acta*. 2011. № 523. P. 1–24.
  10. Thermal stability and electrical behavior of polydimethylsiloxane nanocomposites with carbon nanotubes and carbon black fillers / M. Norkhairunnisa [et al.] // *Journal of composite materials*. 2011. № 46 (8). P. 903–910.
  11. Prahdan B., Srivastava S.K. Synergistic effect of three dimensional multi-walled carbon nanotube/graphene nanofiller in enhancing the mechanical and thermal properties of high performance silicone rubber // *Indian institute of technology. India, Kharagpur*, 2014. 43 p.
  12. Enhanced thermal stability of polychloroprene rubber composites with ionic liquid modified MWCNTs / K. Subramaniam [et al.] // *Polymer degradation and stability*. 2012. № 97. P. 776–785.
  13. Паспорт безопасности, в соответствии с регламентом (ЕС) № 1907/2006 TИP TOP SOLUTION MTR. Код продукта: 00156-0098. 2018. 12 с.
  14. Полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа: пат. 2196731 С2 Рос. Федерация / А.Н. Пономарев, В.А. Никитин; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество АСТРИН (ЗАО АСТРИН) № 2000124887/11; опублик. 20.01.2003. 17 с.
  15. Термический анализ при исследовании объектов судебной пожарно-технической экспертизы: учеб. пособие / М.Ю. Принцева [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2018. 144 с.
  16. Анализ и тестирование. URL: <https://analyzing-testing.netzsch.com/ru> (дата обращения: 03.04.2023).
  17. ГОСТ Р 53293–2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.03.2023).
  18. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учеб. для ВТУЗов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 592 с.
  19. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. ГОСТ 14236–81 (СТ СЭВ 1490–79) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.03.2023).
  20. Пластмассы. Метод испытания на растяжение ГОСТ 11262–2017 (ISO 527-2:2012) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.03.2023).
  21. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. ASTM D882-18 // ASTM INTERNATIONAL. URL: [astm.org/d0882-18.html](http://astm.org/d0882-18.html) (дата обращения: 10.03.2023).
  22. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб). ГОСТ 12423–2013 (ISO 291:2008) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.03.2023).
  23. Научно-исследовательская лаборатория «Гибридные наноструктурные материалы». URL: <http://hybrid-nano-lab.misis.ru/equipments/eq-6.php> (дата обращения: 10.03.2023).
  24. Иванов А.В. Тушение модельных очагов класса «В» наномодифицированными огнетушащими составами: закономерности и эффекты // *Техносферная безопасность*. 2022. № 4 (37). С. 34–44.

## References

1. Samigullin G.H., Zaharov A.E. Ocenka pozharnogo riska pri ispol'zovanii polimernyh elastichnyh rezervuarov dlya hraneniya nefiti i nefteproduktov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 4 (60). S. 6–12.
3. Prognozirovanie dal'nosti dejstviya porazhayushchih faktorov i resursa bezopasnoj ekspluatatsii rezervuarov, izgotovlennyh iz polimernogo kompozitnogo materiala, v usloviyah otricatel'nyh temperatur / N.S. Shirieva [i dr.] // Neftegazovoe delo. 2020. № 1. S. 53–72.
4. Shirieva N.S., Shiriev A.K., Tlyasheva P.P. Openka primeneniya polevogo sklada goryuchego na baze elastichnyh rezervuarov na vostochno-tajmyrskom licenzionnom uchastke s uchetom analiza riska // Neftegazovoe delo. 2017. № 3. S. 169–188.
5. GOST 1510–2022. Mezhdgosudarstvennyj standart. Neft' i nefteprodukty. Markirovka, upakovka, transportirovanie i hranenie // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 19.04.2023).
2. Samigullin G.H., Zaharov A.E. Snizhenie pozharnoj opasnosti pri ispol'zovanii polimernyh elastichnyh rezervuarov dlya hraneniya nefiti i nefteproduktov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2023. № 1 (65). S. 8–16.
6. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 g.: statist. sb. Balashiha: FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2022. 114 s.
7. Thermal protection characteristics of polydimethylsiloxane-organoclay nanocomposite / Alex A. Smitha [et al.] // Polymer degradation and stability. 2017. Vol. 144. P. 281–291.
8. Thermal properties and flammability of nanocomposites based on diene rubbers and naturally occurring and activated halloysite nanotubes / P. Rybinski [et al.] // J Therm Anal Calorim. 2012. № 107. P. 1243–1249.
9. Chrissafis K., Bikiaris D. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part I: An overview on thermal decomposition of addition polymers // Thermochimica acta. 2011. № 523. P. 1–24.
10. Thermal stability and electrical behavior of polydimethylsiloxane nanocomposites with carbon nanotubes and carbon black fillers / M. Norkhairunnisa [et al.] // Journal of composite materials. 2011. № 46 (8). P. 903–910.
11. Prahdan B., Srivastava S.K. Synergistic effect of three dimensional multi-walled carbon nanotube/graphene nanofiller in enhancing the mechanical and thermal properties of high performance silicone rubber // Indian institute of technology. India, Kharagpur, 2014. 43 p.
12. Enhanced thermal stability of polychloroprene rubber composites with ionic liquid modified MWCNTs / K. Subramaniam [et al.] // Polymer degradation and stability. 2012. № 97. P. 776–785.
13. Pasport bezopasnosti, v sootvetstvii s reglamentom (ES) № 1907/2006 TIP TOP SOLUTION MTR. Kod produkta: 00156-0098. 2018. 12 s.
14. Poliedral'nye mnogoslojnye uglerodnye nanostrukturny fulleroidnogo tipa: pat. 2196731 S2 Ros. Federaciya / A.N. Ponomarev, V.A. Nikitin; zayavitel' i patentoobladatel' Zakrytoe akcionernoe obshchestvo ASTRIN (ZAO ASTRIN) № 2000124887/11; opubl. 20.01.2003. 17 s.
15. Termicheskij analiz pri issledovanii ob"ektov sudebnoj pozharno-tekhnicheskoy ekspertizy: ucheb. posobie / M.YU. Princeva [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2018. 144 s.
16. Analiz i testirovanie. URL: <https://analyzing-testing.netzsch.com/ru> (data obrashcheniya: 03.04.2023).
17. GOST R 53293–2009. Pozharnaya opasnost' veshchestv i materialov. Materialy, veshchestva i sredstva ognezashchity. Identifikaciya metodami termicheskogo analiza // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 19.03.2023).

24. Ivanov A.V. Tushenie model'nyh ochagov klassa «V» nanomodifitsirovannymi ognetyashchimi sostavami: zakonomernosti i efekty // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2022. № 4 (37). S. 34–44.

18. Feodos'ev V.I. Soprotivlenie materialov: uchebnik dlya VTUZov. M.: MGITU im. N.E. Baumana, 2004. 592 s.

19. Plenki polimernye. Metod ispytaniya na rastyazhenie. GOST 14236–81 (ST SEV 1490–79) // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 19.03.2023).

20. Plastmassy. Metod ispytaniya na rastyazhenie GOST 11262–2017 (ISO 527-2:2012) // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 19.03.2023).

21. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. ASTM D882-18 // ASTM INTERNATIONAL. URL: [astm.org/d0882-18.html](http://astm.org/d0882-18.html) (data obrashcheniya: 10.03.2023).

22. Plastmassy. Usloviya kondicionirovaniya i ispytaniya obrazcov (prob). GOST 12423–2013 (ISO 291:2008). // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 10.03.2023).

23. Nauchno-issledovatel'skaya laboratoriya «Gibridnye nanostrukturnye materialy». URL: <http://hybrid-nano-lab.misis.ru/equipments/eq-6.php> (data obrashcheniya: 10.03.2023).

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 17.04.2023; одобрена после рецензирования: 10.05.2023;  
принята к публикации: 11.05.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 17.04.2022; approved after review: 10.05.2023;  
accepted for publication: 11.05.2023

*Информация об авторах:*

**Самигуллин Гафур Халафович**, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: samigullin.g@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5688-8921>

**Захаров Александр Евгеньевич**, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: frzakhsach@mail.ru

*Information about the authors:*

**Samigullin Gafur Kh.**, professor of the department of fire safety of technological processes and productions of the 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: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>

**Zakharov Alexandr E.**, senior lecturer of the department of fire safety of technological processes and productions of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: frzakhsach@mail.ru

Научная статья

УДК 614.84

## ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ВОДОРОДНЫХ ЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

✉ Фомин Александр Викторович;

Егоров Андрей Александрович.

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

✉ [fomin.a@igps.ru](mailto:fomin.a@igps.ru)

*Аннотация.* Разработка инженерно-технических и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности водородных заправочных станций основывается на анализе и оценке их пожарной опасности. Физико-химические особенности применения водорода в качестве топлива свидетельствуют о том, что водородная заправочная станция как объект технического регулирования в области пожарной безопасности является взрывопожароопасным. Приведен обзор информации о состоянии противопожарной защиты при эксплуатации водородных заправочных станций в зарубежных странах. Проанализированы наиболее вероятные события, которые могут являться причинами пожароопасных ситуаций при построении сценариев возникновения и развития пожаров на водородных заправочных станциях, влекущих за собой гибель людей.

Для определения периодичности проведения контрольных (надзорных) мероприятий в отношении водородных заправочных станций предлагается рассчитывать показатель тяжести негативных последствий пожаров с учетом критерия вероятности поражения водородной заправочной станции, приводится алгоритм его определения.

Показано, что введение величины пожарной опасности водородной заправочной станции в качестве одного из критериев отнесения объекта защиты к категории риска должно способствовать снижению пожароопасности водородных заправочных станций, размещенных в селитебной зоне городской застройки.

*Ключевые слова:* водород, заправочная станция, пожарная безопасность, пожарный риск, контрольно-надзорные мероприятия, риск-ориентированный подход

**Для цитирования:** Фомин А.В., Егоров А.А. Оценка пожарной опасности водородных заправочных станций // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 159–166.

Scientific article

## DETERMINATION OF THE FIRE HAZARD OF HYDROGEN FILLING STATIONS

✉ Fomin Alexander V.;

Egorov Andrey A.

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

✉ [fomin.a@igps.ru](mailto:fomin.a@igps.ru)

*Abstract.* The development of engineering, technical and organizational measures to ensure the fire safety of hydrogen filling stations is based on the analysis and assessment of their fire hazard. The physicochemical features of the use of hydrogen as a fuel indicate that a hydrogen filling station, as an object of technical regulation in the field of fire safety, is explosive and flammable. An overview of information on the state of fire protection during the operation

of hydrogen filling stations in foreign countries is given. The most probable events that may be the causes of fire-hazardous situations in the construction of scenarios for the occurrence and development of fires at hydrogen filling stations, entailing the death of people, are analyzed.

To determine the frequency of control (supervisory) measures in relation to hydrogen filling stations, it is proposed to calculate the severity of the negative consequences of fires, taking into account the criterion of the probability of damage to a hydrogen filling station, an algorithm for determining it is given.

It is shown that the introduction of the fire hazard value of a hydrogen filling station as one of the criteria for classifying the object of protection as a risk category should contribute to reducing the fire hazard of hydrogen filling stations located in the residential area of urban development.

**Keywords:** hydrogen, filling station, fire safety, fire risk, control and supervisory measures, risk-oriented approach

**For citation:** Fomin A.V., Egorov A.A. Determination of the fire hazard of hydrogen filling stations // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 159–166.

## Введение

Одним из направлений реформы контрольной и надзорной деятельности органов государственного контроля (надзора) и муниципального контроля в стране является внедрение риск-ориентированного подхода при планировании и проведении контрольных (надзорных) мероприятий в отношении контролируемых лиц [1].

Риск-ориентированный подход контрольной и надзорной деятельности представляет собой методологию, обеспечивающую целевое воздействие надзорных функций на объекты защиты, основанные на анализе состояния технических устройств, риска их аварий и инцидентов в соответствии со значимостью последствий таких аварий и инцидентов для безопасности населения.

Риск-ориентированный подход в деятельности надзорных органов МЧС России при осуществлении федерального государственного пожарного надзора заключается в отнесении объекта защиты к определенной категории риска на основе расчета рисков негативных последствий пожаров для объектов защиты, однородных по виду экономической деятельности и классам функциональной пожарной опасности [2, 3].

Определение категории риска должно осуществляться в отношении объектов водородной промышленности, а именно водородных заправочных станций (ВЗС), которые предназначены для дозированной подачи водорода потребителю, включающих в себя стационарное оборудование для производства, сжатия, хранения и раздачи водорода, используемого в качестве топлива для наземных транспортных средств.

Для оценки соответствия ВЗС требованиям пожарной безопасности проверяются условия их выполнения, содержащиеся в нормативных документах по пожарной безопасности (национальные стандарты, своды правил, а также иные содержащие требования пожарной безопасности документы, которые включены в перечень документов по стандартизации), или определяются расчетные величины пожарного риска, не превышающие установленных допустимых значений [4].

## Аналитическая часть

Исследование вопроса применения риск-ориентированного подхода на водородных заправочных станциях осуществлялось с использованием аксиоматического метода, моделирования и сравнения.

Перспективным направлением государственной энергетической политики является развитие альтернативных источников энергии, одним из которых является водород [5].

В области развития водородной промышленности перспективным направлением является создание ВЗС. Законодательством о техническом регулировании в области пожарной безопасности установлено, что мерой возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей является пожарный риск [6]. При расчете риска ВЗС существует проблема, связанная с отсутствием нормативных требований по обеспечению их пожарной безопасности.

В ряде зарубежных стран осуществляется строительство новых объектов, а также разработка нормативно-технических актов в области водородной промышленности. Например, в Японии в 2003 г. компанией Osaka Gas построена масштабная модель ВЗС для проведения испытаний в случае возникновения аварии. Результаты этих экспериментов руководствовало правительство Японии при создании технических актов в области энергетики [7].

В США строительство ВЗС является приоритетным направлением развития водородной промышленности и осуществляется на федеральном уровне и на уровне штатов. На общегосударственном уровне существуют технические акты, регулирующие обеспечение пожарной безопасности, разрабатываемые Национальной ассоциацией противопожарной защиты (NFPA). В частности, в 2016 г. разработан стандарт NFPA-2 «Technical Committee on Hydrogen Technologies», в задачи которого входит разработка рекомендаций и актов, направленная на обеспечение пожарной безопасности объектов водородной промышленности, в частности ВЗС [8–10].

В Российской Федерации развитие водородной промышленности осуществляется в соответствии с положениями Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации (Концепция), которая предусматривает внедрение и применение ВЗС, а также создание необходимой для этого инфраструктуры [11]. Концепция предусматривает три этапа создания водородной промышленности и обеспечение ее безопасности в период с 2021 по 2050 г., что аналогично с программами развития зарубежных стран. Одной из проблем развития водородной энергетики в Российской Федерации является отсутствие нормативной правовой базы в области обеспечения пожарной безопасности объектов водородной промышленности, регламентация материалов, обеспечивающих целостность объектов.

Вследствие отсутствия нормативно-правовых актов и методов по оценке пожарного риска ВЗС предлагается провести расчеты риска причинения вреда (ущерба) для определения периодичности проведения контрольных (надзорных) мероприятий сотрудниками органов государственного пожарного надзора (органы ГПН).

ВЗС – промышленный объект, особенности которого заключаются в обслуживании и хранении водорода, включающий в себя комплекс сооружений, предназначенный для заправки транспортных средств водородом через топливораздаточные колонки.

Вследствие возникновения на ВЗС взрывопожароопасных ситуаций, таких как утечка водорода, предлагается произвести расчет теплового потока [12]. Это необходимо учитывать, так как ВЗС будет располагаться в селитебной зоне городской застройки, что подразумевает наличие людей на территории ВЗС и прилегающей территории, которые при возникновении иницирующего события могут оказаться пострадавшими.

При утечке водорода, взрыва и последующего развития пожара определяется интенсивность теплового излучения при горении твердых материалов. Это связано с тем, что резервуар и элементы топливораздаточной колонки, состоящие из металлов, являются составной частью ВЗС. Сценарии возникновения развития аварийных ситуаций имеют следующие особенности:

- при разгерметизации технологического оборудования возможен выход газовой фазы водорода;
- воспламенение паровоздушного облака может привести к образованию ударной волны, способной разрушать окружающие объекты;
- взрыв с образованием «огненного шара».



Возникновению этих сценариев способствует утечка водорода. Расчет утечки водорода осуществляется, исходя из способов его хранения в специальных резервуарах под высоким давлением, что накладывает серьезные ограничения на их конструктивные характеристики. При возникновении пожароопасной ситуации в виде истечения водорода в окислительную среду возможно не только серьезное повреждение конструкций, но и его последующее самовоспламенение даже в отсутствии источников огня [13].

Для расчета утечки водорода следует учитывать его размещение в специальном резервуаре в газообразном состоянии.

Определение опасности самовоспламенения водорода при его истечении в окислительную среду является важной задачей. Процессы утечки горючего газа могут произойти при выбросе газа из резервуаров или трубопроводов [14].

Рассмотрим ситуацию, когда на ВЗС в одном из резервуаров с хранением газообразного водорода произошло охрупчивание металла, в результате чего произошла утечка в виде струи газа. При утечке водорода в окружающую среду возникает ударная волна, энергия движения газа которой преобразуется в тепловую посредством смешивания с воздухом. Например, при утечке водорода в окружающую среду возможно возникновение взрывной волны, которая в пять раз превышает скорость звука. На поверхности будет наблюдаться сильная турбулентность, что влияет на смесь истекающего холодного газа с горячим газом за ударной волной. При разгерметизации резервуара под высоким давлением или срабатывании клапана сброса давления может произойти возгорание водорода с последующим взрывом. При смешении водорода с воздухом возникает смесь, называемая гремучим газом, которая при воспламенении может привести к взрыву. Самовоспламенение и дальнейший взрыв могут произойти при условии, что время пребывания смеси при высокой температуре достаточно для ускорения реакции [15].

Ярким примером является авария на водородной заправочной станции в г. Сандвик (Норвегия), где 10 июня 2019 г. произошел взрыв с последующим пожаром. При этом пострадали два человека, которые находились на значительном расстоянии. Расследованием происшествия установлено, что причиной пожара стало нарушение правил эксплуатации объекта: «из-за человеческой ошибки внутренние болты заглушки не были затянуты должным образом», что повлекло в накопителе образование высокого давления и утечки водорода с последующим взрывом [16].

Расчет расхода водорода из резервуара осуществлялся в соответствии с методикой определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. При дальнейшем процессе утечки и воспламенения водорода следует рассматривать последствия в виде теплового потока, возникшего вследствие взрыва резервуара на ВЗС. Данные расчеты могут быть унифицированы при составлении сценариев наступления взрывопожароопасной ситуации.

Одним из факторов, влияющих на проведение расчетов по оценке пожарного риска ВЗС, является количество пострадавших, находящихся в зоне аварии.

Для определения категории риска ВЗС рекомендуется рассчитать значение величины поражения ВЗС, исходя из массового расхода водорода из резервуара ( $G$ ), что является взрывопожароопасной ситуацией. Если происходит утечка, то могут возникнуть сценарии, основное различие которых будет заключаться в диаметре отверстий, через которые будет истекать водород.

При сверхкритическом истечении массовый расход будет определяться по формуле:

$$\text{при } \frac{P_a}{P_V} < \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)};$$

$$G = A_{hol} * \mu \left[ P_V * \rho_V * \gamma \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)} \right]^{1/2},$$

где  $G$  – массовый расход, кг/с;  $P_a$  – атмосферное давление, Па;  $P_v$  – давление газа в резервуаре, Па;  $\gamma$  – показатель адиабаты газа;  $A_{hol}$  – площадь отверстия, м<sup>2</sup>;  $\mu$  – коэффициент истечения (при отсутствии данных допускается принимать равным 0,8);  $\rho_v$  – плотность газа в резервуаре при давлении  $P_v$ , кг/м<sup>3</sup>.

В этом случае  $\gamma$  – показатель адиабаты  $H_2$  следует принимать при нормальных условиях равным 1,41 [17].

На основе частоты разгерметизации резервуара определяется вероятность наступления события, а именно взрыва. Это связано с реакцией водорода с воздухом, а также повышенной взрывопожароопасностью, которая определяется по формуле:

$$L = G \left( \frac{R_z D_s}{100} \right),$$

где  $G$  – массовый расход водорода, кг/с;  $R_z$  – радиус взрыва, м;  $D_s$  – диаметр огненного шара, м.

Радиус взрыва рассчитывается по методике определения пострадавших в зоне чрезвычайной ситуации [18]. Диаметр огненного шара устанавливается при расчете интенсивности теплового излучения при горении твердых материалов.

Значение величины поражения ВЗС ( $R_v$ ) рассчитывается по формуле:

$$R_v = \frac{t}{N} \left( \frac{2R_z}{tL} N_i \right),$$

где  $t$  – анализируемый период времени;  $N$  – количество объектов защиты в стране;  $R_z$  – радиус взрыва;  $L$  – вероятность наступления события чрезвычайной ситуации;  $N_i$  – количество пострадавших в селитебной зоне в результате воздействия опасных факторов пожара, взрыва на ВЗС.

Показатель тяжести негативных последствий пожаров при отнесении ВЗС к соответствующей категории риска предлагается дополнить величиной поражения ВЗС, значение которой будет учитываться органами ГПН при определении периодичности проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий при осуществлении федерального ГПН в отношении ВЗС.

Введение величины поражения ВЗС ( $R_v$ ) объясняется необходимостью повышения уровня их пожарной безопасности с учетом особенностей физико-химических свойств водорода и конструктивными характеристиками заправочной станции. Данные показатели для определения категории пожарного риска ВЗС рекомендуется ввести в качестве одного из критериев добросовестности, характеризующих вероятность несоблюдения на объекте защиты обязательных требований пожарной безопасности [19]. Величина поражения ВЗС будет являться значением, учитываемым при расчете индекса индивидуализации объекта защиты, который окажет влияние на определение сотрудниками органов ГПН периодичности проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий при осуществлении федерального ГПН в отношении ВЗС.

## Заключение

Величина поражения ВЗС обеспечивает объективизацию значения показателя тяжести негативных последствий пожаров на ВЗС при их отнесении к соответствующей категории риска для определения периодичности проведения плановых контрольно-надзорных мероприятий надзорными органами МЧС России при осуществлении федерального ГПН.

Показатель тяжести негативных последствий пожара на ВЗС с учетом величины ее поражения, который является одним из критериев добросовестности причинения ущерба (вреда) на производственном объекте, характеризующий вероятность несоблюдения на объекте защиты обязательных требований пожарной безопасности, позволит определить категорию пожарного риска для периодичности проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий.

### Список источников

1. О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора): постановление Правительства Российской Федерации от 17 авг. 2016 г. № 806. URL: <https://base.garant.ru/71473944/> (дата обращения: 06.12.2022).
2. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации: постановление Правительства Российской Федерации от 16 сент. 2020 г. № 1479. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297> (дата обращения: 15.02.2023).
3. О Федеральном государственном пожарном надзоре: постановление Правительства Российской Федерации от 12 апр. 2012 г. № 290. URL: <https://base.garant.ru/70161266/> (дата обращения: 15.11.2022).
4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_78699/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/) (дата обращения: 29.03.2023).
5. Фомин А.В., Егоров А.А., Борисова В.А. Обеспечение пожарной безопасности водородных заправок станций // Вестник университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2022. Т. 6. № 3. С. 305–311.
6. ISO/TS 20100:2008. Gaseous hydrogen – Fuelling stations. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103135> (дата обращения: 15.11.2022).
7. Использование водорода изменяет структуру энергетики. URL: <https://www.nippon.com/ru/currents/d00167/> (дата обращения: 05.02.2023).
8. Hydrogen law and regulation in the US. URL: <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/united-states-of-america> (дата обращения: 05.02.2023).
9. NFPA-2 «Technical Committee on Hydrogen Technologies». URL: [https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/2/2\\_A2020\\_HYD\\_AAA\\_FD\\_mins\\_10\\_20.pdf](https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/2/2_A2020_HYD_AAA_FD_mins_10_20.pdf) (дата обращения: 12.02.2023).
10. US hydrogen road map. URL: <https://www.fcchea.org/us-hydrogen-study> (дата обращения: 12.02.2023).
11. Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/608226547> (дата обращения: 21.02.2023).
12. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения: 29.12.2022).
13. Александрова Д.М. Анализ условий самовоспламенения сжатого водорода // Молодой ученый. 2019. № 21 (259). С. 83–89.
14. Ударно-волновой механизм самовоспламенения водорода при внезапном истечении из резервуара под высоким давлением / Т.В. Баженова [и др.] // Теплофизика высоких температур. 2007. Т. 5. № 5. С. 665–672.
15. Jing X., Chongfu H. Fire risk analysis of residential buildings based on scenario clusters and its application in fire risk management // Fire safety journal. Special issue on spatial analytical approaches in urban fire management. 2013. Vol. 62. Part A. P. 72–78. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.09.022.
16. Hydrogen fuel editorial station explodes in Norway. URL: <https://www.carsales.com.au/details/hydrogen-fuel-station-explodes-in-norway-118954/> (дата обращения: 21.01.2023).
17. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 21.12.2022).
18. Методические рекомендации по определению количества пострадавших при чрезвычайных ситуациях от 1 сент. 2007 г. № 1-4-60-9-9. (утв. Первым заместителем Министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и

ликвидации последствий стихийных бедствий Р.Х. Цаликовым). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

19. О внесении изменений в Положение о федеральном государственном пожарном надзоре: постановление Правительства Российской Федерации от 12 нояб. 2020 г. № 1662 г. URL: <https://base.garant.ru/74758302/> (дата обращения: 21.12.2022).

## References

1. O primeneni risk-orientirovannogo podhoda pri organizacii otel'nyh vidov gosudarstvennogo kontrolya (nadzora): postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 17 avg. 2016 g. № 806. URL: <https://base.garant.ru/71473944/> (data obrashcheniya: 06.12.2022).
2. Ob utverzhdenii Pravil protivopozharnogo rezhima v Rossijskoj Federacii: postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 16 sent. 2020 g. № 1479. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297> (data obrashcheniya: 15.02.2023).
3. O Federal'nom gosudarstvennom pozharom nadzore: postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 12 apr. 2012 g. № 290. URL: <https://base.garant.ru/70161266/> (data obrashcheniya: 15.11.2022).
4. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnej bezopasnosti: Federal'nyj zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_78699/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/) (data obrashcheniya: 29.03.2023).
5. Fomin A.V., Egorov A.A., Borisova V.A. Obespechenie pozharnej bezopasnosti vodorodnyh zapravochnykh stancij // Vestnik universiteta grazhdanskoj zashchity MCHS Belarusi. 2022. T. 6. № 3. S. 305–311.
6. ISO/TS 20100:2008. Gaseous hydrogen – Fuelling stations. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103135> (data obrashcheniya: 15.11.2022).
7. Ispol'zovanie vodoroda izmenyaet strukturu energetiki. URL: <https://www.nippon.com/ru/currents/d00167/> (data obrashcheniya: 05.02.2023).
8. Hydrogen law and regulation in the US. URL: <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/united-states-of-america> (data obrashcheniya: 05.02.2023).
9. NFPA-2 «Technical Committee on Hydrogen Technologies». URL: [https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/2/2\\_A2020\\_HYD\\_AAA\\_FD\\_mins\\_10\\_20.pdf](https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/2/2_A2020_HYD_AAA_FD_mins_10_20.pdf) (data obrashcheniya: 12.02.2023).
10. US hydrogen road map. URL: <https://www.fchea.org/us-hydrogen-study> (data obrashcheniya: 12.02.2023).
11. Koncepciya razvitiya vodorodnoj energetiki v Rossijskoj Federacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/608226547> (data obrashcheniya: 21.02.2023).
12. SP 12.13130.2009. Opredelenie kategorij pomeshchenij, zdaniy i naruzhnykh ustanovok po vzryvopozharnej i pozharnej opasnosti. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (data obrashcheniya: 29.12.2022).
13. Aleksandrova D.M. Analiz uslovij samovosplamneniya szhatogo vodoroda // Molodoj uchenyj. 2019. № 21 (259). S. 83–89.
14. Udarno-volnovoj mekhanizm samovosplamneniya vodoroda pri vnezapnom istechenii iz rezervuara pod vysokim davleniem / T.V. Bazhenova [i dr.] // Teplofizika vysokih temperatur. 2007. T. 5. № 5. S. 665–672.
15. Jing X., Chongfu H. Fire risk analysis of residential buildings based on scenario clusters and its application in fire risk management // Fire safety journal. Special issue on spatial analytical approaches in urban fire management. 2013. Vol. 62. Part A. P. 72–78. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.09.022.
16. Hydrogen fuel editorial station explodes in Norway. URL: <https://www.carsales.com.au/details/hydrogen-fuel-station-explodes-in-norway-118954/> (data obrashcheniya: 21.01.2023).

17. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah: prikaz MCHS Rossii ot 10 iyulya 2009 g. № 404. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170886> (data obrashcheniya: 21.12.2022).

18. Metodicheskie rekomendacii po opredeleniyu kolichestva postradavshih pri chrezvychajnyh situatsiyah ot 1 sent. 2007 g. № 1-4-60-9-9. (utv. Pervym zamestitelem Ministra Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situatsiyam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij R.H. Calikovym). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

19. O vnesenii izmenenij v Polozhenie o federal'nom gosudarstvennom pozharnom nadzore: postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 12 noyab. 2020 g. № 1662 g. URL: <https://base.garant.ru/74758302/> (data obrashcheniya: 21.12.2022).

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 09.02.2023; одобрена после рецензирования: 26.05.2023; принята к публикации: 08.06.2023

#### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 09.02.2022; approved after review: 26.05.2023; accepted for publication: 08.06.2023

#### *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](mailto:fomin.a@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6093-1446>

**Егоров Андрей Александрович**, адъюнкт кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [andreey-e@mail.ru](mailto:andreey-e@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2495-3829>

#### *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](mailto:fomin.a@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6093-1446>

**Egorov Andrey A.**, 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: [andreey-e@mail.ru](mailto:andreey-e@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2495-3829>

Научная статья

УДК 536.244

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПАКЕТА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОБИЛЬНОГО СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ**

✉ **Гутовский Алексей Вениаминович.**

**Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки, Россия.**

**Морозов Александр Юрьевич.**

**Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, Москва, Россия.**

**Турсенев Сергей Александрович.**

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

✉ [gutovskiy.alexey@mail.ru](mailto:gutovskiy.alexey@mail.ru)

*Аннотация.* На основе результатов расчетов уравнений зависимости температуры поверхности пакетов материалов от их толщины в период воздействия пламени на противоположную сторону выполнен выбор состава пакета для создания мобильного средства защиты людей. С помощью разработанного алгоритма расчета системы дифференциальных уравнений, описывающих нестационарный теплообмен пакета материалов с окружающей средой, проведены вычисления в системе программных средств Integrated Development Environment, результаты которых сравнили с результатами, полученными с помощью эмпирических формул.

*Ключевые слова:* экспериментальная установка, пакет материалов, температура поверхности, воздействие пламени, средство защиты, пожар

**Для цитирования:** Гутовский А.В., Морозов А.Ю., Турсенев С.А. Обоснование выбора пакета материалов для создания мобильного средства защиты людей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 167–175.

Scientific article

## **JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF A PACKAGE OF MATERIALS FOR THE CREATION OF A MOBILE MEANS OF PROTECTING PEOPLE**

✉ **Gutovsky Alexey V.**

**Civil defence academy of EMERCOM of Russia, Khimki, Russia.**

**Morozov Alexander Yu.**

**Federal research center «Informatics and management» of the Russian academy of sciences, Moscow, Russia.**

**Tursenev Sergey A.**

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

✉ [gutovskiy.alexey@mail.ru](mailto:gutovskiy.alexey@mail.ru)

*Abstract.* Based on the results of calculations of the equations of the dependence of the surface temperature of the packages of materials on their thickness during the period of exposure to the flame on the opposite side, the composition of the package was selected to create a mobile means of protecting people. With the help of the developed algorithm for calculating a system of differential equations describing the unsteady heat exchange of a package of materials with the environment, calculations were carried out in the Integrated Development Environment software system, the results of which were compared with the results obtained using empirical formulas.

**Keywords:** experimental installation, package of materials, surface temperature, flame exposure, protective equipment, fire

**For citation:** Gutovsky A.V., Morozov A.Yu., Tursenev S.A. Justification of the choice of a package of materials for creating a mobile means of protecting people // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 167–175.

### Введение

По причине глобального изменения климата на нашей планете природные явления все чаще проявляют непредсказуемый характер, что приводит к увеличению масштабов последствий природных пожаров на территории Российской Федерации. Наиболее опасными считают верховые лесные пожары, которые обладают самыми высокими значениями параметров тепловых воздействий и способны привести к окружению людей горящей кромкой, что нередко заканчивалось трагедией. В этом отношении наиболее уязвимой категорией являются пожарные подразделения, которые по роду своей деятельности вынуждены выполнять работы в непосредственной близости от горящей кромки пожара. Согласно указу Президента Российской Федерации [1] одной из основных задач является совершенствование спасательных технологий, технических средств и экипировки, предназначенных для оснащения спасательных воинских формирований, аварийно-спасательных служб и аварийно-спасательных формирований, пожарно-спасательных подразделений. Кроме того, согласно ст. 212 Трудового кодекса Российской Федерации [2] работодатель обязан обеспечить применение средств индивидуальной и коллективной защиты работников. Однако, как показывает практика, периодически происходят случаи гибели личного состава пожарных подразделений (иногда в полном составе) при окружении верховым лесным пожаром.

Анализ современных средств защиты от тепловых воздействий показал, что значения теплофизических параметров, которыми они обладают, не в полной мере обеспечивают безопасность пожарных в условиях верхового лесного пожара. Одним из возможных путей решения данной проблемы является разработка мобильного средства защиты людей от тепловых воздействий (МСЗ), а также научное обоснование его теплофизических параметров, способных обеспечить безопасность личного состава пожарных подразделений в условиях верхового лесного пожара.

В связи с тем, что для создания МСЗ планируется применение пакетов материалов из теплоотражательной и теплоизоляционной ткани, были проведены экспериментальные исследования с воздействием открытого пламени на исследуемые образцы в течение заданного времени, позволившие определить температуру на противоположной нагреву поверхности [3].

На основе математической модели нестационарного теплообмена, применяемой при проектировании специальной защитной одежды в системе программных средств Integrated Development Environment (IDE), составлен алгоритм расчета и получены значения температур на границах системы теплообмена материалов пакета с окружающей средой, что позволило сравнить результаты экспериментальных исследований с расчетными значениями.

### Методика исследования

Для обеспечения безопасности людей в период воздействия на МСЗ верхового лесного пожара необходимо, чтобы материалы обладали термостойкостью в течение 15 мин [4], в связи с чем проведены экспериментальные исследования по выбору кремнеземных тканей для создания пакетов материалов. Исследования [3] позволили из нескольких наиболее распространенных образцов теплоотражательных и теплоизоляционных материалов выбрать экземпляры, которые не подверглись разрушению под воздействием открытого пламени

в течение заданного времени. Выбранные образцы были использованы для создания пакетов материалов, с которыми проведены исследования на экспериментальной установке (рис. 1).

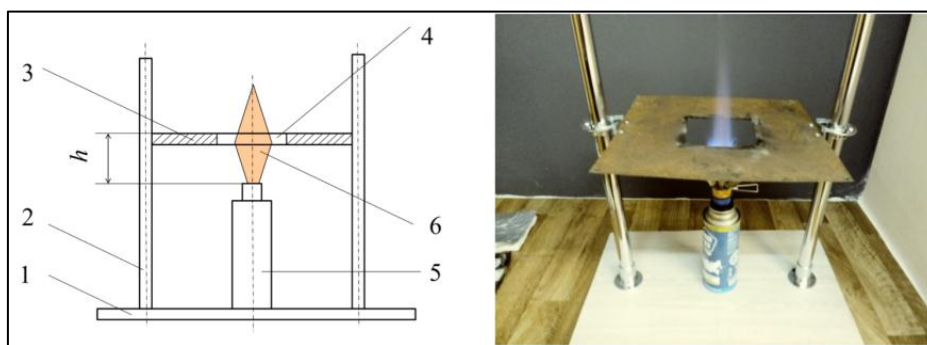


Рис. 1. Экспериментальная установка:

1 – подставка; 2 – стойка; 3 – платформа; 4 – окно факела;  
5 – газовая горелка; 6 – факел;  $h$  – расстояние от газовой горелки до платформы

Целью исследования являлся выбор пакета материалов, обеспечивающего наименьшую температуру поверхности на противоположной нагреву стороне.

Образцы размещали на платформе сверху окна факела и подвергали воздействию открытого пламени с температурой  $T_s = 1\,200\,^{\circ}\text{C}$  в течение времени тепловой экспозиции  $t = 15$  мин. После чего инфракрасным термометром измеряли температуру поверхности на противоположной нагреву стороне. Эксперименты проводились с образцами толщиной  $\delta = 8, 16, 24, 32$  и  $40$  мм (рис. 2).



Рис. 2. Комплекты материалов толщиной  $\delta = 8, 16, 24, 32$  и  $40$  мм

### Результаты исследования

На основе результатов экспериментальных исследований были выведены уравнения зависимости температуры поверхности пакетов материалов на противоположной нагреву стороне от их толщины. Уравнения составлены для двух комплектов пакетов материалов:

– комплект № 1 – кремнеземная ткань с металлизированным покрытием костюма ТК-800 и теплоизоляционная ткань «Ековоол» (формула (1));

– комплект № 2 – кремнеземная ткань КТ-11-С8/3 и теплоизоляционная ткань «Ековоол» (формула (2)).

$$T_{3(1)} = 440,67 \cdot e^{-0,073 \delta}, \quad (1)$$

где  $T_3$  – температура внутренней поверхности пакета материалов (на противоположной нагреву стороне),  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\delta$  – толщина пакета материалов, мм;  $e$  – основание натурального логарифма, равное значению 2,72.



$$T_{3(2)} = 536,4 \cdot e^{-0,076 \delta} \quad (2)$$

Полученные уравнения позволяют определять температуру поверхности на противоположной нагреву стороне при заданной толщине пакета материалов.

Подставив значения  $\delta$  (табл. 1) в формулы (1) и (2), было установлено, что при воздействии открытого пламени с температурой 1 200 °С в течение 15 мин на пакет материала на его противоположной стороне температура поверхности достигает: у комплекта № 1 – 95 °С; у комплекта № 2 – 109 °С.

В настоящее время для определения температур на границах системы «окружающая среда – средство защиты» широко используется математическая модель нестационарного теплообмена [5–9], основой которой является система дифференциальных уравнений теплопроводности.

Для решения системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы теплопередачи [10] для математической модели нестационарного теплообмена в системе программных средств IDE, составлен алгоритм, блок-схема которого представлена на рис. 3.

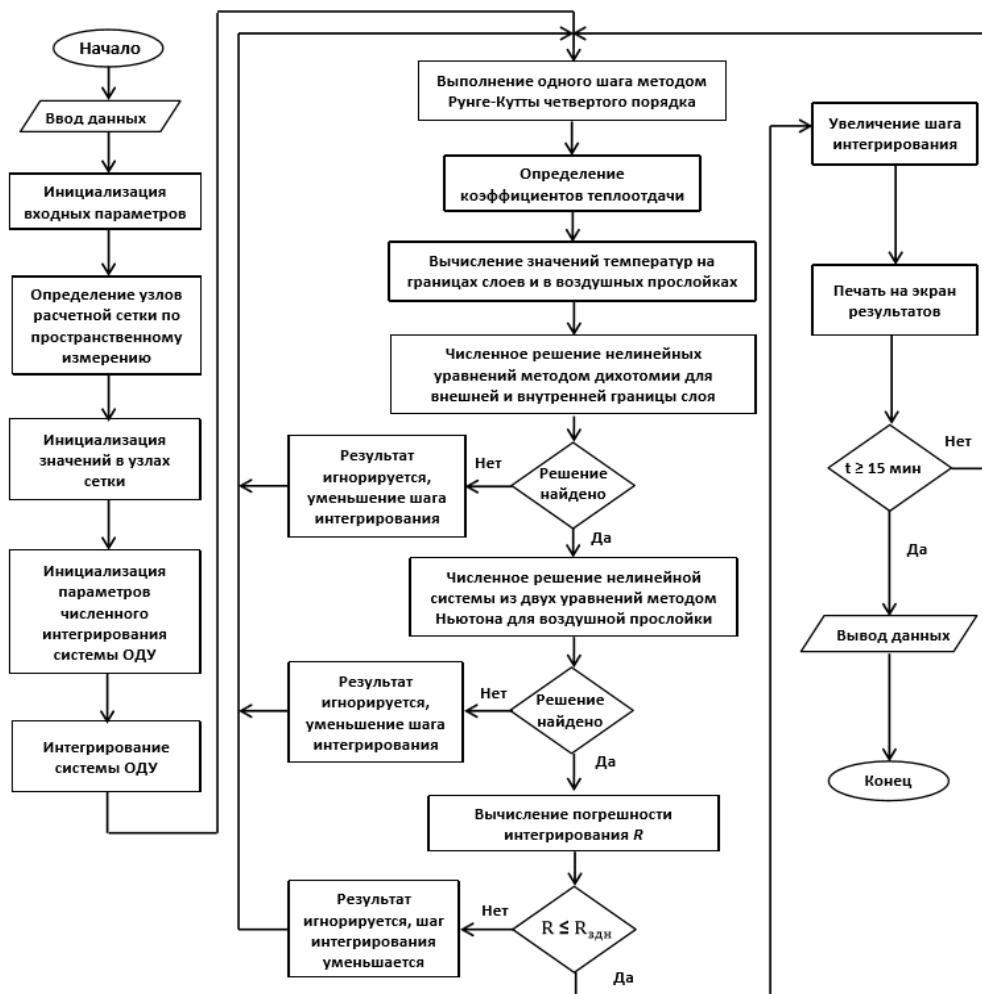


Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета температур на границах системы нестационарного теплообмена:  $t$  – время тепловой экспозиции пожара;  $R$  – расчетная погрешность интегрирования;  $R_{зди}$  – заданная погрешность интегрирования

Исходными данными для вычислений являются теплофизические параметры окружающей среды, геометрические и теплофизические параметры материалов, а также время тепловой экспозиции (табл. 1).

Таблица 1

**Исходные данные для расчета температур на границах системы нестационарного теплообмена «окружающая среда – средство защиты» в системе программных средств IDE**

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	2	3
<b>Параметры окружающей среды</b>		
1	Температура воздуха и экспериментального образца в начальный момент времени, °C	20
2	Температура пламени, °C	1 200
4	Скорость ветра, м/с	0
5	Степень черноты воздуха	0,85
<b>Время тепловой экспозиции</b>		
6	Время тепловой экспозиции, с	900
<b>Параметры кремнеземной ткани с металлизированным покрытием (ТК-800)</b>		
7	Температура ткани в начальный момент времени, °C	26
8	Степень черноты поверхности	0,7
9	Поверхностная плотность, кг/м <sup>2</sup>	0,75
10	Коэффициент теплопроводности, Вт·м <sup>-1</sup> ·°C <sup>-1</sup> при температуре 20 °C	0,03
	500 °C	0,04
	1 000 °C	0,05
	1 200 °C	0,06
11	Удельная теплоемкость, Дж/кг·°C при температуре 250 °C	1 006
	450 °C	1 100
	1 000 °C	1 215
12	Толщина ткани, м	0,0006
13	Геометрические размеры ткани, м	0,12×0,12
<b>Параметры кремнеземной ткани КТ-11-С8/3</b>		
14	Температура ткани в начальный момент времени, °C	26
15	Степень черноты поверхности	0,9
16	Поверхностная плотность, кг/м <sup>2</sup>	0,6
17	Коэффициент теплопроводности, Вт·м <sup>-1</sup> ·°C <sup>-1</sup> при температуре 20 °C	0,03
	500 °C	0,14
	1 000 °C	0,22
18	Удельная теплоемкость, Дж/кг·°C при температуре 250 °C	1 006
	450 °C	1 100
	1 000 °C	1 215
19	Толщина ткани, м	0,0006
20	Геометрические размеры ткани, м	0,12×0,12
<b>Параметры теплоизоляционной ткани «Ekowool»</b>		
21	Температура ткани в начальный момент времени, °C	26
22	Степень черноты поверхности	0,9
23	Поверхностная плотность, кг/м <sup>2</sup>	0,6
24	Коэффициент теплопроводности, Вт·м <sup>-1</sup> ·°C <sup>-1</sup> при температуре 20 °C	0,03
	600 °C	0,16
	1 000 °C	0,34
25	Удельная теплоемкость, Дж/кг·°C при температуре 250 °C	1 006
	450 °C	1 100
	1 000 °C	1 215
26	Толщина ткани, м	0,021
27	Геометрические размеры ткани, м	0,12×0,12

Вышеуказанный программный продукт позволяет определить на границах системы теплообмена в период теплового воздействия открытого пламени в заданное время  $t$ : температуру поверхности теплоотражательной ткани T1 (со стороны пламени); температуру на границе поверхностей теплоотражательной ткани и теплоизоляционной T12; температуру поверхности теплоизоляционной ткани на противоположной нагреву стороне пакета материалов Tr (рис. 4).

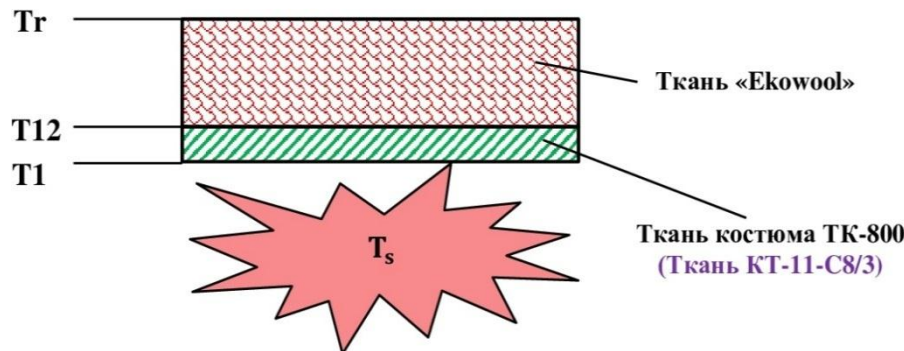


Рис. 4. Границы системы теплообмена пакета термостойких материалов с окружающей средой

Расчет, выполненный в системе IDE, позволил установить, что через 15 мин воздействия открытого пламени с температурой  $T_s = 1\,200\,^{\circ}\text{C}$  в течение 15 мин на комплект № 1 и № 2 температуры поверхностей на противоположных нагреву сторонах пакетов составляют  $102\,^{\circ}\text{C}$  (рис. 5) и  $107\,^{\circ}\text{C}$  соответственно (рис. 6).

t	T1	T12	Tr	4.400	899.800	800.194	100.282	8.900	903.122	804.001	101.617	13.400	903.127	804.007	101.619
0.000	28.787	20.000	20.000	4.500	900.247	800.691	100.447	9.000	903.123	804.002	101.617	13.500	903.128	804.008	101.620
0.100	224.317	90.744	20.000	4.600	900.618	801.127	100.593	9.100	903.180	803.980	101.617	13.600	903.132	804.006	101.620
0.200	321.951	184.674	20.000	4.700	900.945	801.502	100.722	9.200	903.123	804.003	101.618	13.700	903.128	804.008	101.620
0.300	402.391	264.547	20.003	4.800	901.232	801.826	100.836	9.300	903.124	804.003	101.618	13.800	903.128	804.007	101.620
0.400	468.750	331.463	20.046	4.900	901.476	802.110	100.936	9.400	903.125	804.004	101.618	13.900	903.134	804.005	101.620
0.500	524.452	388.529	20.252	5.000	901.690	802.355	101.023	9.500	903.136	803.999	101.618	14.000	903.128	804.007	101.620
0.600	571.536	436.382	20.819	5.100	901.877	802.569	101.099	9.600	903.125	804.005	101.618	14.100	903.127	804.007	101.620
0.700	610.823	476.629	21.943	5.200	902.038	802.754	101.166	9.700	903.125	804.005	101.619	14.200	903.127	804.007	101.619
0.800	643.765	511.076	23.724	5.300	902.178	802.916	101.224	9.800	903.141	803.999	101.619	14.300	903.165	803.992	101.619
0.900	671.906	541.021	26.228	5.400	902.301	803.057	101.275	9.900	903.125	804.005	101.619	14.400	903.128	804.008	101.619
1.000	696.080	567.158	29.427	5.500	902.407	803.179	101.319	10.000	903.126	804.006	101.619	14.500	903.129	804.008	101.619
1.100	717.155	590.263	33.233	5.600	902.500	803.286	101.358	10.100	903.159	803.993	101.619	14.600	903.128	804.008	101.619
1.200	735.747	610.900	37.524	5.700	902.588	803.376	101.391	10.200	903.127	804.007	101.619	14.700	903.129	804.008	101.619
1.300	752.276	629.414	42.147	5.800	902.652	803.460	101.421	10.300	903.131	804.006	101.619	14.800	903.144	804.002	101.619
1.400	766.974	646.120	46.943	5.900	902.713	803.530	101.446	10.400	903.127	804.007	101.619	14.900	903.128	804.008	101.620
1.500	780.295	661.340	51.804	6.000	902.767	803.592	101.469	10.500	903.127	804.007	101.619	15.000	903.128	804.008	101.620
1.600	792.339	675.197	56.581	6.100	902.814	803.646	101.488	10.600	903.128	804.007	101.619				
1.700	803.288	687.861	61.175	6.200	902.856	803.692	101.505	10.700	903.128	804.007	101.619				
1.800	813.279	699.465	65.512	6.300	902.889	803.733	101.520	10.800	903.128	804.007	101.619				
1.900	822.399	710.089	69.533	6.400	902.919	803.768	101.533	10.900	903.128	804.007	101.619				
2.000	830.714	719.793	73.206	6.500	902.947	803.799	101.544	11.000	903.132	804.005	101.619				
2.100	838.306	728.661	76.530	6.600	903.025	803.803	101.554	11.100	903.127	804.007	101.619				
2.200	845.245	736.737	79.515	6.700	902.990	803.849	101.562	11.200	903.127	804.007	101.619				
2.300	851.510	744.089	82.174	6.800	903.007	803.869	101.570	11.300	903.127	804.007	101.619				
2.400	857.214	750.747	84.535	6.900	903.023	803.887	101.576	11.400	903.128	804.006	101.619				
2.500	862.361	756.753	86.619	7.000	903.066	803.890	101.582	11.500	903.127	804.007	101.619				
2.600	867.020	762.138	88.453	7.100	903.048	803.916	101.586	11.600	903.129	804.007	101.619				
2.700	871.156	766.998	90.067	7.200	903.059	803.928	101.591	11.700	903.131	804.006	101.619				
2.800	874.891	771.342	91.487	7.300	903.068	803.938	101.594	11.800	903.128	804.008	101.619				
2.900	878.218	775.207	92.728	7.400	903.075	803.947	101.598	11.900	903.128	804.007	101.619				
3.000	881.192	778.659	93.820	7.500	903.082	803.954	101.600	12.000	903.128	804.008	101.619				
3.100	883.826	781.716	94.772	7.600	903.088	803.962	101.603	12.100	903.127	804.007	101.619				
3.200	886.168	784.431	95.606	7.700	903.093	803.967	101.605	12.200	903.129	804.007	101.619				
3.300	888.238	786.829	96.335	7.800	903.098	803.973	101.607	12.300	903.134	804.005	101.619				
3.400	890.075	788.954	96.975	7.900	903.104	803.976	101.609	12.400	903.127	804.007	101.619				
3.500	891.694	790.823	97.533	8.000	903.105	803.981	101.610	12.500	903.127	804.007	101.619				
3.600	893.120	792.478	98.022	8.100	903.107	803.984	101.611	12.600	903.127	804.007	101.619				
3.700	894.378	793.930	98.448	8.200	903.111	803.987	101.612	12.700	903.160	803.993	101.619				
3.800	895.485	795.208	98.821	8.300	903.113	803.990	101.613	12.800	903.127	804.007	101.619				
3.900	896.454	796.332	99.147	8.400	903.114	803.992	101.614	12.900	903.128	804.007	101.619				
4.000	897.310	797.321	99.433	8.500	903.116	803.994	101.615	13.000	903.128	804.007	101.619				
4.100	898.062	798.183	99.682	8.600	903.127	803.992	101.615	13.100	903.128	804.008	101.619				
4.200	898.717	798.945	99.900	8.700	903.119	803.998	101.616	13.200	903.144	804.002	101.619				
4.300	899.294	799.612	100.097	8.800	903.123	803.998	101.616	13.300	903.128	804.008	101.619				

Рис. 5. Результаты вычислений IDE значений температуры на границах системы теплообмена в зависимости от времени (комплект № 1)



[illegible]

**Рис. 6. Результаты вычислений IDE значений температуры на границах системы теплообмена в зависимости от времени (комплект № 2)**

Погрешность значений температур, полученных с помощью эмпирических формул и рассчитанных с применением системы IDE, составила: для комплекта № 1 – 7 %; для комплекта № 2 – 2 %.

## Заключение

Согласно проведенным расчетам установлено, что после теплового воздействия пламенем с температурой 1 200 °С на пакеты материалов в течение 15 мин наименьшей температурой поверхности при прочих равных условиях обладает комплект № 1, следовательно, среди исследуемых образцов для создания МСЗ целесообразно использовать пакет материалов, в состав которого входит теплоотражательная ткань с металлизированным покрытием костюма ТК-800 и теплоизоляционная ткань «Eko wool».

Так как расхождения между значениями температур, рассчитанными эмпирическими формулами и с помощью системы IDE, незначительны (7 % – для комплекта № 1 и 2 % – для комплекта № 2), то в дальнейшем при проектировании средств защиты людей от тепловых воздействий целесообразно использовать указанный программный продукт, осуществляющий вычисления на основе разработанного алгоритма, что позволит получать необходимые данные без проведения многочисленных трудоемких и дорогостоящих экспериментов.

## Список источников

1. О Стратегии в области развития гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах на период до 2030 года: Указ Президента Рос. Федерации от 16 окт. 2019 г. № 501. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 дек. 2001 г. № 197-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Выбор материала для средства защиты людей от теплового воздействия лесного пожара / А.В. Готовский [и др.] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. Химки: Акад. гражданской защиты МЧС России, 2019. № 4. С. 56–61.
4. Справочно-информационная система «Ландшафтные пожары». Средства борьбы. Коллективные средства спасения. URL: [http://sibpsa.ru/sis\\_pp/sr\\_br/sredstva/view.php?code=2](http://sibpsa.ru/sis_pp/sr_br/sredstva/view.php?code=2) (дата обращения: 02.03.2023).
5. Логинов В.И. Конструирование и комплексная оценка качества специальной защитной одежды пожарных: дис. ... д-ра техн. наук. М.: ВНИИПО МЧС России, 2010. 244 с.
6. Соколянский В.В. Обоснование параметров средств тепловой защиты спасателей в кабине пожарного автомобиля: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Донецк, 2016. 21 с.
7. Исхаков Х.И. Защита автотранспортных средств при воздействии тепловых потоков пожара: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: МГТУ, 1991. 32 с.
8. Определение параметров теплообмена замкнутых систем с окружающей средой / Х.И. Исхаков [и др.]. М.: ГФАП СССР, 1990. 55 с.
9. Безбородько М.Д., Исхаков Х.И. О защите пожарных автомобилей от теплового излучения на пожарах // Горение и проблемы тушения пожаров: сб. науч. трудов. М.: ВНИИПО МЧС России, 1979. С. 121–126.
10. Федоров Р.М. Термодинамика и теплопередача: учеб. М.: Издание АПР, 2012. 328 с.

### References

1. О Стратегии в области развития гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах на период до 2030 года: Указ Президента Рос. Федерации от 16 окт. 2019 г. № 501. Доступ из информ.-правового портала «Garant».
2. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 дек. 2001 г. № 197-FZ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Выбор материала для средства защиты людей от теплового воздействия лесного пожара / А.В. Готовский [и др.] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. Химки: Акад. гражданской защиты МЧС России, 2019. № 4. С. 56–61.
4. Справочно-информационная система «Ландшафтные пожары». Средства борьбы. Коллективные средства спасения. URL: [http://sibpsa.ru/sis\\_pp/sr\\_br/sredstva/view.php?code=2](http://sibpsa.ru/sis_pp/sr_br/sredstva/view.php?code=2) (дата обращения: 02.03.2023).
5. Loginov V.I. Konstruirovaniye i kompleksnaya ocenka kachestva special'noj zashchitnoj odezhdy pozharnyh: dis. ... d-ra tekhn. nauk. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2010. 244 s.
6. Sokolyanskij V.V. Obosnovaniye parametrov sredstv teplovoj zashchity spasatelej v kabine pozhnogo avtomobilya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Doneck, 2016. 21 s.
7. Iskhakov H.I. Zashchita avtotransportnyh sredstv pri vozdejstvii teplovyh potokov pozhara: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. M.: MGTU, 1991. 32 s.
8. Opredeleniye parametrov teploobmena zamknutyh sistem s okruzhayushchej sredoy / H.I. Iskhakov [i dr.]. M.: GFAP SSSR, 1990. 55 s.
9. Bezborod'ko M.D., Iskhakov H.I. O zashchite pozharlyh avtomobiley ot teplovogo izlucheniya na pozharah // Goreniiye i problemy tusheniya pozharov: sb. nauch. trudov. M.: VNIPO MCHS Rossii, 1979. S. 121–126.
10. Fedorov R.M. Termodinamika i teploperedacha: ucheb. M.: Izdanie APR, 2012. 328 s.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 07.03.2023; одобрена после рецензирования: 04.05.2023;  
принята к публикации: 16.06.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 07.03.2023; approved after review: 04.05.2023;  
accepted for publication: 16.06.2023

*Сведения об авторах:*

**Гутовский Алексей Вениаминович**, старший преподаватель кафедры инженерной защиты населения и территорий Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Московская обл., г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1 А), кандидат технических наук, e-mail: gutovskiy.alexey@mail.ru

**Морозов Александр Юрьевич**, научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук (119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2), кандидат физико-математических наук, e-mail: morozov@infway.ru

**Турсенев Сергей Александрович**, начальник кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: stursenev@yandex.ru

*Information about the authors:*

**Gutovskiy Alexey V.**, senior lecturer of the department engineering protection of population and territories of Civil defence academy of EMERCOM of Russia (141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya str., bld. 1 A), candidate of technical sciences, e-mail: gutovskiy.alexey@mail.ru

**Morozov Alexander Yu.**, researcher at the Federal research center «Computer science and control» of the Russian academy of sciences» (119333, Moscow, Vavilova str., 44, bld. 2), candidate of physical and mathematical sciences, e-mail: morozov@infway.ru

**Tursenev Sergey A.**, head of the department of fire extinguishing and emergency rescue operations of the 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: stursenev@yandex.ru

---

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

---

УДК 614.841

Научная статья

### **К ВОПРОСУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОН ТОКСИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ В СЛУЧАЯХ ПОЖАРА НА ПОЛИГОНАХ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ**

✉ Савчук Олег Николаевич.

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

✉ [oleg-savcuk@mail.ru](mailto:oleg-savcuk@mail.ru)

*Аннотация.* Приведен анализ статистических данных о росте количества твердых коммунальных отходов в мире и на территории России, ежегодный прирост которых возрастает. Приведены данные по количеству полигонов с твердыми коммунальными отходами и их размещению по площади на территории страны. Рассмотрены проблемы по утилизации отходов и невозможности их полной переработки в России. Одной из проблем рассматривается повышение вероятности отравления людей, расположенных в населенных пунктах вблизи таких полигонов, в результате пожаров в связи с увеличением в морфологическом составе отходов упаковочных изделий, которые при возгорании выделяют опасные химические вещества. Рассмотрен анализ существующих методик прогнозирования последствий пожаров на полигонах и свалках с твердыми коммунальными отходами и предложена методика прогнозирования на основе известной ОНД-86, позволяющая определять зону токсического заражения при пожарах на полигонах с твердыми коммунальными отходами с учетом возможного более достоверного количественного и качественного состава отходов. Приводятся расчеты по определению зон токсического заражения при пожарах на полигоне по предлагаемой методике и показаны получаемые завышенные результаты при использовании исходных данных по определению выброса массы опасных химических веществ существующих нормативных документов. Предлагаемая методика позволяет рассчитывать способы укладки, обеспечивающие наименьший выход опасных химических веществ при пожарах на полигонах твердых коммунальных отходов.

*Ключевые слова:* твердые коммунальные отходы, опасные химические вещества, зона токсического заражения воздуха, концентрация опасного химического вещества, глубина порогового заражения

**Для цитирования:** Савчук О.Н. К вопросу прогнозирования зон токсического заражения в случаях пожара на полигонах с твердыми коммунальными отходами // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 176–187.

Scientific article

## IMPROVING THE METHODOLOGY OF PREDICTING TOXIC CONTAMINATION ZONES IN CASES OF FIRE AT SOLID MUNICIPAL WASTE LANDFILLS

✉ Savchuk Oleg N.

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

✉ oleg-savcuk@mail.ru

**Abstract.** The article provides an analysis of statistical data on the growth of solid municipal wastes in the world and in Russia, the annual growth of which is increasing. Data on the quantity of grounds for solid municipal wastes disposal and their distribution over the territory of the country are given. The problem of solid municipal wastes utilization and impossibility to recycle them completely in Russia is considered. One of the problems is an increase in a probability of people poisoning in the settlements situated in the vicinity of such dumps as a result of fires due to an increase of packaging products in the morphological composition of solid municipal wastes that emit hazardous chemical substances in the course of combustion. The analysis of existing methods of prognostication of consequences of fires at disposal sites and landfills with solid wastes is considered and the prognostication method on the basis of the known OND-86 is offered. This method enables to determine the zone of toxic contamination in case of fires at disposal sites with solid wastes with an allowance for possible more reliable quantitative and qualitative composition of solid wastes. Calculations on determination of toxic contamination zones in case of fires at a landfill with solid municipal wastes according to the proposed methodology are given and the obtained overestimated results are shown when using the initial data on determination of the mass emission of hazardous chemical substances of the existing regulatory documents. The proposed methodology makes it possible to calculate stacking methods that provide the lowest yield of hazardous chemical substances in fires at solid waste landfills.

**Keywords:** solid municipal waste, hazardous chemicals, toxic air contamination zone, concentration of hazardous chemicals, threshold contamination depth

**For citation:** Savchuk O.N. Improving the methodology of predicting toxic contamination zones in cases of fire at solid municipal waste landfills // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 176–187.

### Введение

Антропогенное воздействие на природу имеет тенденцию возрастания в XXI в. Это обусловлено ростом численности населения на планете, которое все в больших масштабах использует дары природы в целях поддержания своей жизнеспособности, урбанизацией, интенсивной разработкой и потреблением полезных ископаемых, количественным ростом промышленности и транспорта, приводящим к выбросам в окружающую среду вредных газов и отходов.

В ряду антропогенного воздействия на природу существенным фактором является рост объемов твердых коммунальных отходов (ТКО). Это приводит к проблеме выбора мест складирования таких отходов в условиях роста числа мегаполисов, которые могут занимать значительные площади на территории регионов. По оценке экспертов [1] в мире объем ТКО составляет более 1 млрд м<sup>3</sup>/год, ежегодно мировой прирост ТКО составляет около 2 %. Только в России производится ТКО около 70 млн т, ежегодный прирост составляет около 5 %, на каждого жителя в нашей стране приходится до 400 кг в год [2]. В России на площади до 4 млн га размещены около 15 тыс. полигонов, на которых накоплено за прошедшие годы более 30 млрд т отходов производства и потребления [2]. Проблема утилизации и захоронения



ТКО в России состоит еще и в том, что только 4 % ТКО перерабатывается на мусороперерабатывающих предприятиях, а до 25 % ТКО невозможно переработать. Изменение характера жизни человека, услуг в XXI в. привело к росту в составе ТКО упаковочных изделий в основном из пластика и полиэтиленовой пленки. При возгорании в таком составе ТКО в атмосферу могут выделяться токсические вещества, к которым относятся в основном: оксид углерода, цианистый водород, хлористый водород, оксиды азота, акролеин, ацетонитрил, которые представляют угрозу жизни и здоровью людей [3]. При пожарах отравление людей в населенных пунктах, расположенных вблизи полигонов, возрастает из-за расширения номенклатуры и объемов использования полимерных материалов в бытовых изделиях [4]. В связи с этим целью данной работы является обеспечение экологической безопасности населения путем разработки и совершенствования методики прогнозирования последствий пожаров на полигонах и санкционированных свалках ТКО, получение более достоверных параметров распространения токсического облака и назначения безопасной зоны удаления от населенных пунктов с учетом накопления объемов ТКО.

### **Анализ существующих методик прогнозирования последствий при возгорании ТКО и их совершенствование**

В настоящее время при выборе мест полигонов ТКО проектируемых объемов размещения их на соответствующих площадях с учетом складирования руководствуются следующими нормативными документами: «Временные рекомендации по расчету выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах ТБО и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха», «Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов ТБО» [5, 6]. В работах по разработке методик оценки экологического риска при горении ТКО [7–10] расчет ущерба определяется по массе выброшенных при пожаре токсических веществ. Расчет массы выброса токсических веществ при сгорании ТКО ведется сугубо ориентировочно, руководствуясь рекомендациями [5] с учетом плотности размещения ТКО  $0,25 \text{ т/м}^3$  и удельного выброса вредных веществ при сгорании 1 т ТКО с установленной платой за количество  $i$ -го выброса вредного вещества по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^n m_i * Q,$$

где  $M$  – суммарная масса выброса вредных веществ, т;  $m_i$  – удельный выброс  $i$ -го вредного вещества ТКО, т/т;  $Q$  – количество сгоревшего или прогнозируемого количества ТКО, т.

Однако следует при прогнозировании последствий возгораний ТКО на полигонах получать более достоверную информацию по зоне распространения токсического загрязнения с учетом реального содержания состава ТКО, высоты и площади укладки ТКО.

Для решения данной проблемы предлагается использовать методику [11], разработанную на основе известной по расчету концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ [12]. Однако следует отметить особенности прогнозирования последствий возгораний ТКО на полигонах в зависимости от характера инициирования возгораний. В случаях самовоспламенения в результате тепловой химической реакции окисления органических веществ ТКО происходит тление в глубине захоронения с температурой до  $155^\circ\text{C}$ , а при наружном возгорании в случае молнии, поджога или несоблюдения правил противопожарной безопасности температура может достигать до  $880^\circ\text{C}$ . Кроме того, следует учитывать процентное компонентное содержание ТКО и его морфологический состав, а также знать количественный выход опасных химических веществ (ОХВ) при сгорании компонентов ТКО (табл. 2.1 в монографии [11]).

Расчет глубины порогового заражения при возгорании компонентов ТКО можно проводить ориентировочно по преобладающему компоненту ТКО или с учетом процентного содержания известных компонентов и предлагается осуществлять на основе определения

максимального значения приземной концентрации ОХВ, образующихся при сгорании компонентов ТКО. Расчет предлагается проводить по формуле [12]:

$$C_M = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K \frac{A \cdot M_{ij}^{am} \cdot F^* \cdot m^2 \cdot n^2 \cdot \eta_p}{H_6^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (1)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;  $M_{ij}^{am}$  – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени (г/с);  $F^*$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседающих вредных веществ в атмосферном воздухе;  $m^2$  и  $n^2$  – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;  $H_6$  – высота источника выброса над уровнем земли (для наземных источников при расчетах принимается  $H_6=2$  м);  $\eta_p$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км,  $\eta_p=1$ , в остальных случаях определяется по таблице;  $\Delta T$  – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси  $T_z$  и температурой окружающего атмосферного воздуха  $T_b$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$$M_{ij}^{am} = Q_j^{cz} \cdot m_{ij}^{v0} \cdot S_{0\text{выж}j}, \quad (2)$$

где  $M_{ij}^{am}$  – масса  $i$ -го ОХВ, выбрасываемая в атмосферу в единицу времени при сгорании  $j$ -го материала;  $Q_j^{cz}$  – скорость выгорания  $j$ -го материала, определяется по табл. 2.1 работы (кг/м<sup>2</sup>·мин) [11];  $m_{ij}^{v0}$  – удельный выход  $i$ -го ОХВ при сгорании  $j$ -го материала, определяется по табл. 2.1 монографии (мг/г) [11];  $S_{0\text{выж}j}$  – площадь выгорания  $j$ -го материала в начальный период (м<sup>2</sup>), которая будет зависеть от конфигурации укладки  $j$ -го материала и в упрощенном варианте может быть определена как:

$$S_{0\text{выж}j} = \frac{Q_{0j}^*}{\rho_j \cdot h_{\text{ук}}} + 2 (\text{хук} \cdot l_{\text{ук}} + \text{хук} \cdot \text{Ш}_{\text{ук}}), \quad (3)$$

где  $Q_{0j}^*$  – первоначальная масса  $j$ -го материала, т;  $\rho_j$  – плотность  $j$ -го материала, т/м<sup>3</sup>;  $h_{\text{ук}}$  – высота укладки  $j$ -го материала, м;  $l_{\text{ук}}$  – длина укладки  $j$ -го материала, м;  $\text{Ш}_{\text{ук}}$  – ширина укладки, м;  $V_1$  – расход газовой смеси, определяемой по формуле:

$$V_1 = 0,3 \cdot S_{\text{выб}}, \quad (4)$$

где  $S_{\text{выб}}$  – площадь источника выброса образующихся ОХВ (суммарная площадь захоронения ТКО, на котором произошло возгорание материалов).

Значения безразмерных коэффициентов  $m^2$  и  $n^2$  определяются в зависимости от параметров  $f$ ,  $\mathcal{G}_m$ ,  $\mathcal{G}'_m$  и  $f_e$  [12]. С учетом условий образования ОХВ при пожаре на полигонах с ТКО значения коэффициентов  $f$ ,  $m^2$  и  $n^2$  определяются по формулам:

$$f = 1000 \cdot \frac{\omega_o^2 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{выб}}}{\pi}}}{H_6^2 \cdot \Delta T} \quad (\text{безразмерный}); \quad (5)$$

$$m^2 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f < 100;$$

$$n^{\circ} = 1 \text{ при } \mathcal{G}_M \geq 2.$$

С учетом значений коэффициентов  $f$ ,  $m^{\circ}$  и  $n^{\circ}$  формулу (1) можно представить в виде:

$$C_M = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K \frac{A \cdot M^{am_{ij}} \cdot \eta_p}{H_{\epsilon}^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T \cdot (0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f})}}, \quad (6)$$

так как согласно [11] для газообразных веществ  $F^* = 1$ .

Принимая наихудшие условия при скорости ветра  $U$  и неблагоприятных метеоусловиях, концентрации ОХВ, достигающей максимального значения  $C_{MU}$ , удаление  $X_M$  ( $m$ ) от источника пожара определяется по формуле:

$$X_{MU} = 3 \cdot d^* \cdot H_{\epsilon}. \quad (7)$$

Концентрация  $C_{U_M}$  наземного источника ( $H_{\epsilon}$  менее 10 м) по направлению выброса при опасной скорости ветра  $U_M$  при значениях  $X/X_M \leq 1$  на удалениях  $X$  от него определяется по формуле:

$$C_{U_M} = C_M \cdot S_1^H,$$

где  $S_1^H$  – коэффициент, рассчитываемый в зависимости от отношения  $X/X_M$  и  $H$  по формуле:

$$S_1^H = 0,125 \cdot (10 - H_{\epsilon}) + 0,125 \cdot (H_{\epsilon} - 2) \cdot S_1$$

при  $2 \leq H < 10$ ;

$$S_1 = 3 \cdot (X/X_M)^4 - 8 \cdot (X/X_M)^3 + 6 \cdot (X/X_M)^2$$

при  $X/X_M \leq 1$ .

Концентрация ОХВ  $C_y$  на расстоянии  $y$  ( $m$ ) перпендикулярно к оси направления выброса будет определяться по формуле:

$$C_y = S_2 \cdot C_{MU}, \quad (8)$$

где  $S_2$  – коэффициент, рассчитываемый в зависимости от скорости ветра  $U$  и отношения  $y/x$  по значению  $t_y$  по формуле:

$$S_2 = \frac{1}{(1 + 5 \cdot t_y + 12,8 \cdot t_y^2 + 17 \cdot t_y^3 + 45,1 \cdot t_y^4)^2},$$

где  $t_y = \frac{U \cdot y^2}{x^2}$  при  $U \leq 5$ ;  $t_y = \frac{5 \cdot y^2}{x^2}$  при  $U > 5$ .

Определение суммарной концентрации ОХВ по формуле (6) не дает возможности определения глубины зоны токсического загрязнения, так как нет нормативных данных по ПДК суммарной концентрации различных ОХВ [13], образующихся при сгорании ТКО.

Поэтому предлагается вести расчет  $C_M$  по каждому из образующихся ОХВ при сгорании  $k$  материалов, а затем рассчитать приведенную суммарную концентрацию к одному из  $N$  опасных химических веществ [11], то есть:

$$C_{Mnn}^1 = C_M^1 + C_M^2 \cdot \frac{ПДК_1}{ПДК_2} + \dots + C_M^N \cdot \frac{ПДК_1}{ПДК_N}. \quad (9)$$

В большинстве случаев целесообразно расчет  $C_{Mnn}^1$  осуществлять по приведению к концентрации окиси углерода СО остальных образующихся ОХВ при сгорании материалов, так как согласно [14] можно определить значение средней смертельной концентрации  $C_{L50}$  по формуле на любое время экспозиции:

$$C_{cm} = C_{L50} = 4,502 + 22,292/\tau \text{ мг/л}, \quad (10)$$

где  $\tau$  – время экспозиции в мин; пороговое значение  $C_n^{co}$  определяется как  $C_{cm}/3,8$ .

Максимальное значение концентрации  $C_{MU}$  при неблагоприятных метеоусловиях и скорости ветра  $U$  на расстоянии  $X_M$  определяется по формуле:

$$C_{MU} = [0,67 \cdot (U/U_M) + 1,67 \cdot (U/U_M)^2 - 1,34(U/U_M)^3] \cdot C_{Mnp}^1. \quad (11)$$

Учитывая изменения концентрации при прохождении облака по закону Гаусса и используя известное соотношение [15]:

$$C_x = C_M \exp [-(X/\Gamma_{nop}) \ln (C_M/C_n)],$$

где  $C_x$  – концентрация на расстоянии  $X$  от рассматриваемой точки до очага пожара, мг/л;  $\Gamma_{nop}$  – глубина зоны заражения, м;  $C_M$  – концентрация в очаге пожара, мг/л;  $C_n$ ,  $C_{cm}$  – значения пороговой и смертельной концентрации, определяемые в общем случае как  $D_n/30$  для экспозиции до 2 ч [15], можно определить глубину заражения при неблагоприятных метеоусловиях, с учетом формулы (9), как:

$$\Gamma_{nop} = \frac{3d^* \cdot H_e \cdot \ln \frac{C_M}{C_n}}{\ln \frac{C_M}{C_{MU}}}. \quad (12)$$

Ориентировочно угол распространения образующихся ОХВ при пожаре ТКО определяется по табл. 1.

Таблица 1

**Ориентировочное значение угла распространения образующихся ОХВ при пожаре ТКО**

Скорость ветра м/с	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10–15
$\varphi$ град	93	62	43	34	28	26	26	26	26	26	26

Проведем ориентировочный расчет параметров пороговой зоны токсического распространения заражения воздуха при пожаре на полигоне захоронения ТКО по предлагаемой методике на примере: произошло возгорание на участке полигона ТКО на площади  $100 \text{ м}^2$ , где согласно Инструкции по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов ТБО [16] было захоронено 170 т ТКО ( $\rho_{\text{ТКО}} = 0,85 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$ ) с высотой укладки  $h_{\text{ук}}=2 \text{ м}$ , укрытой изолирующим слоем грунта  $0,15 \text{ м}$  при уплотнении его,  $l_{\text{ук}}=10 \text{ м}$ ,  $\Pi=10 \text{ м}$ ,  $S_{\text{выг}}=90 \text{ м}^2$ ,  $S_{\text{выб}}=50 \text{ м}^2$ , среднюю скорость выхода газовой смеси принимаем  $\omega_0=0,3 \text{ м/с}$ , температура пожара равна  $880^\circ\text{C}$ , температура окружающего воздуха  $+20^\circ\text{C}$ , высота выброса  $H=3 \text{ м}$ , местность слабо пересеченная  $\eta_p = 1$ , скорость ветра  $u=2 \text{ м/с}$ . В связи с трудностями в точной оценке морфологического состава ТКО примем среднестатистическую долю целлюлозы в ее составе  $50\%$  [17], а также долю первоначального возгорания количества ТКО –  $10\%$ .

Согласно формуле (6) определяем максимальное значение концентрации ОХВ, образующихся при сгорании целлюлозы. При горении целлюлозы (табл. 2.1 [11]) образуются следующие значимые ОХВ: оксид углерода  $\text{CO}$ , цианистый водород  $\text{HCN}$ , акролеин  $\text{CH}_2$ , формальдегид  $\text{CH}_2\text{O}$ .

Вначале определяем массу этих ОХВ, выбрасываемых в атмосферу в единицу времени, согласно формуле (2):

$$M_{\text{co}}^u = \frac{90 \cdot 270 \cdot 0,64}{60} = 259,2 \text{ г/с};$$

$$M_{\text{HCN}}^u = \frac{90 \cdot 0,74 \cdot 0,64}{60} = 0,71 \text{ г/с};$$

$$M_{\text{CH}_2\text{O}}^u = \frac{90 \cdot 0,2 \cdot 0,64}{60} = 0,19 \text{ г/с};$$

$$M_{\text{CH}_2}^u = \frac{90 \cdot 9,5 \cdot 0,64}{60} = 9,12 \text{ г/с}.$$

Согласно работе [12] значение коэффициента  $A=160$ ; по формуле (4)  $V_I = 100 \cdot 0,3 = 30 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $\Delta T = 880 - 20 = 860^\circ\text{C}$ ; по формуле (3)  $S_{\text{выг}}=90 \text{ м}^2$ ; по формуле (5):

$$f = 1000 \cdot \frac{0,3^2 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 50}{3,14}}}{9 \cdot 860} = 0,093, \quad \eta_p = 1,$$

так как местность пересеченная.

$$C_{M_u}^{\text{co}} = \frac{160 \cdot 259,2 \cdot 1}{9 \cdot \sqrt[3]{30 \cdot 860} \cdot (0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,093} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,093})} = 182,5^3 \text{ г/м}^3,$$

$$C_{M_u}^{\text{HCN}} = \frac{160 \cdot 0,71 \cdot 1}{9 \cdot \sqrt[3]{30 \cdot 860} \cdot (0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,093} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,093})} = 0,54 \text{ г/с};$$

$$C_{M_u}^{\text{CH}_2\text{O}} = \frac{160 \cdot 0,19 \cdot 1}{9 \cdot \sqrt[3]{30 \cdot 860} \cdot (0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,093} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,093})} = 0,134 \text{ г/с};$$

$$C^{\text{CH}_2} = \frac{160 \cdot 9,12 \cdot 1}{9 \cdot \sqrt[3]{30 \cdot 860} \cdot (0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,093} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,093})} = 6,42 \text{ г/м}^3.$$

Согласно формуле (9):

$$C_{Mu} = 182,5 + 0,54 \cdot \frac{10}{0,2} + 0,134 \cdot \frac{10}{0,6} + 6,42 \cdot \frac{10}{0,2} = 532,73 \text{ г/м}^3 = 532,73 \text{ мг/л.}$$

Расстояние  $X_M$  от источника выброса, на котором  $C_M$  достигает максимального значения при неблагоприятных метеоусловиях, согласно формуле (7), будет равно:

$$X_M = 3 \cdot d^* \cdot H_g = 3 \cdot 28,76 \cdot 3 = 258,8 \text{ м};$$

$$d^* = 7 \cdot \sqrt{v_M} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) = 7 \cdot \sqrt{13,32} (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{0,093}) = 28,76;$$

$$v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{30 \cdot 860}{3}} = 13,32.$$

Значения концентрации пороговой  $C_n$  и смертельной концентрации  $C_{cm}$  определяем по формуле (10) с учетом  $\tau = 10$  мин как:

$$C_n = PC_{t_{50}}^{co} = 6,73/3,8 = 1,77 \text{ мг/л}; C_{cm} = LC_{t_{50}}^{co} = 4,502 + 22,292/10 = 6,73 \text{ мг/л.}$$

Согласно формуле (12) определяем глубину порогового токсического заражения на открытой местности:

$$G_{nop} = \frac{3 \cdot 28,76 \cdot 3 L_n \frac{532,73}{1,77}}{L_n \frac{532,73}{68,19}} = 694,3 \text{ м.}$$

Угол распространения ОХВ при пожаре ТКО  $\varphi = 43^\circ$  (табл. 1).

В целях более достоверного определения глубины порогового токсического заражения при пожаре на полигоне захоронения ТКО проведем расчет с учетом процентного содержания компонентов ТКО по статистическим данным Московской академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова [17] с условиями приведенного выше примера: состав ТКО (бумага, картон – 30 %, дерево – 20 %, текстиль – 7 %, пластмасса – 5 %, пищевые отходы – 38 %); доля первоначального возгорания количества ТКО 10 %. При возгорании этих компонентов ТКО образуются ОХВ с количественными характеристиками выхода вещества, представленные в табл. 2.

Таблица 2

#### Количественные характеристики выхода ОХВ рассматриваемых компонентов ТКО

Наименование компонента ТКО	Угарный газ СО, мг/г	Цианистый водород HCN, мг/г	Формальдегид CH <sub>2</sub> O, мг/г	Акролеин CH <sub>2</sub> , мг/г
Бумага, картон	211	0,15	0,22	2,17
Древесина	179	–	0,07	3,65
Пластмасса	104,2	6,7	–	–
Текстиль	5,2	–	–	–

Определяем массу этих ОХВ, выбрасываемых в атмосферу в единицу времени:

$$\Sigma M_{co}^u = \frac{83 \cdot 211 \cdot 0,61}{60} + \frac{82 \cdot 179 \cdot 0,4}{60} + \frac{80,5 \cdot 104,2 \cdot 0,168}{60} + \frac{80,7 \cdot 5,2 \cdot 1,3}{60} = 308,46 \text{ г/с};$$

$$\Sigma M_{HCN}^u = \frac{83 \cdot 0,15 \cdot 0,61}{60} + \frac{80,5 \cdot 6,7 \cdot 0,168}{60} = 1,64 \text{ г/с};$$

$$\Sigma M_{CH_2O}^u = \frac{83 \cdot 0,22 \cdot 0,61}{60} + \frac{82 \cdot 0,07 \cdot 0,4}{60} = 0,224 \text{ г/с};$$

$$\Sigma M_{CH_2}^u = \frac{83 \cdot 2,17 \cdot 0,61}{60} + \frac{82 \cdot 3,65 \cdot 0,4}{60} = 3,83 \text{ г/с};$$

$$C_{M_{co}}^{co} = \frac{160 \cdot 308,46 \cdot 1}{9 \cdot \sqrt[3]{30 \cdot 860 \cdot (0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,093} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,093})}} = 217,18 \text{ г/м}^3;$$

$$C_{M_{HCN}}^{HCN} = \frac{160 \cdot 1,64 \cdot 1}{9 \cdot \sqrt[3]{30 \cdot 860 \cdot (0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,093} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,093})}} = 1,155 \text{ г/с};$$

$$C_{M_{CH_2O}}^{CH_2O} = \frac{160 \cdot 0,224 \cdot 1}{9 \cdot \sqrt[3]{30 \cdot 860 \cdot (0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,093} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,093})}} = 0,158 \text{ г/с};$$

$$C_{CH_2}^{CH_2} = \frac{160 \cdot 3,83 \cdot 1}{9 \cdot \sqrt[3]{30 \cdot 860 \cdot (0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,093} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,093})}} = 2,7 \text{ г/м}^3.$$

Согласно формуле (9):

$$C_{M_{co}} = 217,18 + 1,15 \cdot \frac{10}{0,2} + 0,158 \cdot \frac{10}{0,6} + 2,7 \cdot \frac{10}{0,2} = 412,31 \text{ г/м}^3 = 412,31 \text{ мг/л}.$$

Согласно формуле (11):

$$C_{MU} = C_{M_{co}} \cdot \left[ 0,67 \cdot \left( \frac{U}{U_M} \right) + 1,67 \cdot \left( \frac{U}{U_M} \right)^2 - 1,34 \cdot \left( \frac{U}{U_M} \right)^3 \right] = 52,76 \text{ мг/л}$$

при  $U = 2 \text{ м/с}$  и согласно (8)  $U_M = \vartheta_M \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}) \approx 13,8 \text{ м/с}$ .

Согласно формуле (12) определяем глубину порогового токсического заражения на открытой местности:

$$\Gamma_{nop} = \frac{3 \cdot 28,76 \cdot 3Ln \frac{412,31}{1,77}}{Ln \frac{412,31}{52,76}} = 686,2 \text{ м}.$$

## Заключение

Расчеты показывают, что использование ориентировочных данных по удельному выходу ОХВ при пожаре ТКО для определения зон токсического заражения согласно [5] часто приводит к завышенным результатам их определения. Целесообразно уточнять эти данные в связи с происшедшим качественным и количественным морфологическим составом ТКО в настоящее время. Расчеты в приведенных примерах показывают о преобладании выделяемых ОХВ целлюлозой в составе ТКО при пожаре. Предлагаемая усовершенствованная методика прогнозирования позволяет более достоверно определять границы зон токсического заражения ОХВ при пожарах на полигонах ТКО при уточнении данных по составу ТКО. Это можно обеспечить путем должной организации и учета захоронения отдельных компонентов ТКО. Усовершенствованная методика также позволяет рассчитывать параметры способов укладки, обеспечивающие наименьший выход ОХВ при пожарах на полигонах ТКО.

### Список источников

1. Витковская С.Е. Твердые бытовые отходы: антропогенное звено биологического круговорота: монография. СПб.: АФИ, 2012. 132 с.
2. Беляева М. Нет отходов – есть сырье // Аргументы и факты. 2021. № 47.
3. Оценка воздействия факторов пожара в токсикологическом эксперименте. Пожарная профилактика: сб. науч. трудов / И.В. Гусев [и др.]. Л.: ВНИИПО МЧС России, 1986. С. 12.
4. Брусницына М.А. Отравление цианидами при токсико-дымовом поражении людей на пожаре // Украинский медицинский журнал online. 2002. № 5 (31).
5. Временные рекомендации по расчету выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах ТБО и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха (утв. Министерством экологии и природных ресурсов Рос. Федерации 2 нояб. 1992 г.) // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 16.12.2022).
6. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов ТБО (утв. Министерством строительства Рос. Федерации от 2 нояб. 1996 г.) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 18.12.2022).
7. Рябов Ю.В. Разработка универсальной методики расчета экологического риска возникновения пожара на несанкционированных свалках. СПб.: Научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, 2011. 18 с.
8. Слюсарь Н.Н. Использование результатов оценки экологического риска для разработки программ вывода из эксплуатации старых свалок // Вестник МГСУ. 2016. № 8. С. 88–99.
9. Allgaier G., Ritzkowski M., Stegmann R. Risk assessment of small old landfills: the EVAPASSOLD model. URL: <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=13069> (дата обращения: 24.04.2022).
10. Small landfill closure criteria – Risk assessment for small closed landfills. URL: [www.mfe.govt.nz/sites/default/files/small-landfill-closure-dec02.pdf](http://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/small-landfill-closure-dec02.pdf) (дата обращения: 24.04.2022).
11. Обеспечение химической безопасности в случае пожара и аварий на объектах транспортной инфраструктуры: монография / О.Н. Савчук [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 257 с.
12. Методика расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утв. Министерством природных ресурсов и экологии Рос. Федерации № 273 от 6 июня 2017 г.) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 18.12.2022).
13. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (доп. и перераб.). СПб.: НИИ Атмосферы. Министерство природных ресурсов Российской Федерации, 2005. 145 с.



14. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Суцев С.П. Энциклопедия безопасности. Строительство. Промышленность. Экология: в 3 т. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов. Т. 2: Законы поражения. Прочность и динамика сооружений, 2008. 632 с.
15. Маньков В.Д. Безопасность общества и человека в современном мире: учеб. пособие для технических вузов. СПб.: Изд-во Политехника, 2005. 551 с.
16. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов ТБО (утв. Министерством строительства Российской Федерации от 2 нояб. 1996 г.).
17. Твердые бытовые отходы (сбор, транспортировка и обезвреживание) / В.Г. Систер [и др.]: справ. М.: АКХ им. К.Д. Памфиловой, 2001. 235 с.

## References

1. Vitkovskaya S.E. Tverdye bytovye othody: antropogennoe zveno biologicheskogo krugovorota: monografiya. SPb.: AFI, 2012. 132 s.
2. Belyaeva M. Net othodov – est' syr'e // Argumenty i fakty. 2021. № 47.
3. Ocenka vozdeystviya faktorov pozhara v toksikologicheskom eksperimente. Pozharnaya profilaktika: sb. nauch. trudov / I.V. Gusev [i dr.]. L.: VNIPO MCHS Rossii, 1986. S. 12.
4. Brusnicyna M.A Otravlenie cianidami pri toksiko-dymovom porazhenii lyudej na pozhare // Ukrainiskij medicinskij zhurnal online. 2002. № 5 (31).
5. Vremennye rekomendacii po raschetu vybrosov vrednyh veshchestv v atmosferu v rezul'tate sgoraniya na poligonah TBO i razmera pred'yavlyаемого iska za zagryaznenie atmosfernogo vozduha (utv. Ministerstvom ekologii i prirodnyh resursov Ros. Federacii 2 noyab. 1992 g.) // Oficial'nyj internet-portal pravovoj informacii. URL: <http://pravo.gov.ru> (data obrashcheniya: 16.12.2022).
6. Instrukciya po proektirovaniyu, ekspluatatsii i rekul'tivacii poligonov TBO (utv. Ministerstvom stroitel'stva Ros. Federacii ot 2 noyab. 1996 g.) // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 18.12.2022).
7. Ryabov Yu.V. Razrabotka universal'noj metodiki rascheta ekologicheskogo riska vozniknoveniya pozhara na nesankcionirovannyh svalkah. SPb.: Nauchno-issledovatel'skij centr ekologicheskoy bezopasnosti RAN, 2011. 18 s.
8. Slyusar' N.N. Ispol'zovanie rezul'tatov ocenki ekologicheskogo riska dlya razrabotki programm vyvoda iz ekspluatatsii staryh svalok // Vestnik MGSU. 2016. № 8. S. 88–99.
9. Allgaier G., Ritzkowski M., Stegmann R. Risk assessment of small old landfills: the EVAPASSOLD model. URL: <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=13069> (data obrashcheniya: 24.04.2022).
10. Small landfill closure criteria – Risk assessment for small closed landfills. URL: [www.mfe.govt.nz/sites/default/files/small-landfill-closure-dec02.pdf](http://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/small-landfill-closure-dec02.pdf) (data obrashcheniya: 24.04.2022).
11. Obespechenie himicheskoy bezopasnosti v sluchae pozhara i avarij na ob'ektah transportnoj infrastruktury: monografiya / O.N. Savchuk [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2017. 257 s.
12. Metodika rascheta rasseivaniya vybrosov vrednyh (zagryaznyayushchih) veshchestv v atmosfernom vozduhe (utv. Ministerstvom prirodnyh resursov i ekologii Ros. Federacii № 273 ot 6 iyunya 2017 g.) // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 18.12.2022).
13. Metodicheskoe posobie po raschetu, normirovaniyu i kontrolyu vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv v atmosfernyj vozduh (dop. i pererab.). SPb.: NII Atmosfery. Ministerstvo prirodnyh resursov Rossijskoj Federacii, 2005. 145 s.
14. Kotlyarevskij V.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. Enciklopediya bezopasnosti. Stroitel'stvo. Promyshlennost'. Ekologiya: v 3 t. M.: Izd-vo Associacii stroitel'nyh vuzov. T. 2: Zakony porazheniya. Prochnost' i dinamika sooruzhenij, 2008. 632 s.
15. Man'kov V.D. Bezopasnost' obshchestva i cheloveka v sovremennom mire: ucheb. posobie dlya tekhnicheskikh vuzov. SPb.: Izd-vo Politekhnik, 2005. 551 s.

16. Instrukciya po proektirovaniyu, ekspluatacii i rekul'tivacii poligonov TBO (utv. Ministerstvom stroitel'stva Rossijskoj Federacii ot 2 noyab. 1996 g.).
17. Tverdye bytovye othody (sbor, transportirovka i obezvrezhivanie) / V.G. Sister [i dr.]: sprav. M.: AKKH im. K.D. Pamfilovoj, 2001. 235 s.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 24.01.2023; одобрена после рецензирования: 21.03.2023; принята к публикации: 25.03.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 24.01.2023; approved after review: 21.03.2023; accepted for publication: 25.03.2023

*Информация об авторах:*

**Савчук Олег Николаевич**, профессор кафедры сервис безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: sb@igps.ru, oleg-savcuk@mail.ru

*Information about the authors:*

**Savchuk Oleg N.**, 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 technical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, e-mail: sb@igps.ru, oleg-savcuk@mail.ru

Научная статья

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АМИДНОГО АЗОТА В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ

✉ Медведева Людмила Владимировна.

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

Макарчук Галина Васильевна.

Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва, Санкт-Петербург, Россия.

Бранцевич Геннадий Владимирович.

ООО «Испытательный центр», Санкт-Петербург, Россия

✉ [luvlmed@mail.ru](mailto:luvlmed@mail.ru)

*Аннотация.* Актуализирована проблема экологической безопасности промышленных и жилых зданий, обусловленная эмиссией аммиака в воздушную среду помещений.

В процессе исследований установлено, что источниками эмиссии аммиака в воздух помещений являются бетонные конструкции (бетонные стены, перекрытия, колонны и т.п.) и отделочные материалы.

Аммиак образуется в результате гидролиза содержащейся в бетоне мочевины  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , а карбамид (мочевина) и другие подобные вещества применяются в качестве ускорителей твердения и противоморозных добавок, в том числе аммонизированная зола-унос.

В настоящее время санитарно-гигиеническими требованиями установлены предельно допустимые концентрации аммиака (среднесуточная –  $0,04 \text{ мг/м}^3$  и разовая –  $0,2 \text{ мг/м}^3$ ). Отмечено, что крупными застройщиками в мегаполисах при введении в эксплуатацию новых монолитных многоквартирных жилых домов содержание аммиака в помещениях не контролируется, а установленные нормы концентрации аммиака не соблюдаются.

Очевидно, что предотвратить эмиссию аммиака в воздух помещений возможно организацией системы контроля применяемого в строительстве бетона, а также проверки строительных материалов для выявления случаев превышения в них предельно допустимой концентрации карбамида.

Целью статьи является представление результатов исследований, в ходе которых предложена методика расчета предельно допустимой концентрации мочевины в бетонной смеси, не приводящей к превышению концентрации аммиака в помещениях при их эксплуатации выше заданного значения, включающей в себя расчет содержания амидного азота в бетонной смеси.

*Ключевые слова:* экологическая безопасность, бетонные конструкции, аммиак, бетонная смесь, амидный азот, карбамид (мочевина), методика, строительные материалы

**Для цитирования:** Медведева Л.В., Макарчук Г.В., Бранцевич Г.В. К вопросу определения амидного азота в строительных материалах // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 188–196.

Scientific article

## TO THE QUESTION OF THE DETERMINATION OF AMIDE NITROGEN IN BUILDING MATERIALS

✉ Medvedeva Ludmila V.

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

Military institute (engineering and technical) of Military academy of logistics named after  
army general A.V. Khrulev, Saint-Petersburg, Russia.

Brantsevich Gennady V.

LLC «Testing center», Saint-Petersburg, Russia

✉ [luvlmed@mail.ru](mailto:luvlmed@mail.ru)

*Abstract.* The article actualizes the problem of ammonia emission in industrial and residential buildings into the indoor air.

In the process of research, it was found that the sources of ammonia emission into indoor air are concrete structures (concrete walls, ceilings, columns, etc.) and finishing materials.

In concrete, ammonia is formed as a result of the hydrolysis of urea  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  contained in concrete, and carbamide (urea) and other similar substances are used as hardening accelerators and antifreeze additives, as well as ammoniated fly ash. It is emphasized that the concrete structure is simultaneously a reactor that produces ammonia and a desorber that ensures its emission into the room.

Currently, sanitary and hygienic requirements set the maximum allowable concentrations of ammonia (daily average –  $0,04 \text{ mg/m}^3$  and single –  $0,2 \text{ mg/m}^3$ ). It was noted that when commissioning new monolithic multi-apartment residential buildings, large developers in megacities do not control the content of ammonia in the premises, and the established standards for the concentration of ammonia are not observed.

Obviously, it is possible to prevent the emission of ammonia into indoor air by organizing a control system for concrete used in construction, as well as checking building materials to identify cases of exceeding the maximum permissible concentration of urea in them.

The purpose of the article is to present the results of studies, during which a method for calculating the maximum allowable concentration of urea in a concrete mixture is proposed, which does not lead to an excess of ammonia concentration in rooms during their operation above a given value, and also approximate standards for the content of amide nitrogen in building materials are established.

*Keywords:* environmental safety, concrete structures, ammonia, amide nitrogen, urea, concrete mix, building materials

**For citation:** Medvedeva L.V., Makarchuk G.V., Brantsevich G.V. To the question of the determination of amide nitrogen in building materials // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 188–196.

### Введение

В настоящее время решение проблемы эмиссии газообразного аммиака ( $\text{NH}_3$ ) в промышленных и жилых зданиях в воздушную среду помещений становится чрезвычайно актуальной проблемой экологической безопасности. Аммиак относят к четвертому классу опасности, так как он необратимо воздействует не только на органы дыхания и кожные покровы живых организмов, вызывая кашель, покраснение и зуд, но и на слизистые

оболочки глаз. У человека при действии газообразного аммиака может возникать боль в глазах и обильное слезотечение, вызванные химическим ожогом роговицы и конъюнктивы.

В процессе исследований установлено, что источником эмиссии аммиака в воздух помещений являются бетонные конструкции (бетонные стены, перекрытия, колонны и т.п.) и отделочные материалы, которые содержат, как правило, мочевины (карбамид), соли аммония, аммонизированную золу-унос для ускорения процессов твердения бетона и повышения его устойчивости к воздействиям низких температур.

Предельно допустимыми концентрациями (ПДК) содержания аммиака являются следующие нормы: ПДК среднесуточная –  $0,04 \text{ мг/м}^3$ , ПДК разовая –  $0,2 \text{ мг/м}^3$  [1–3].

Однако при введении в эксплуатацию новых монолитных многоквартирных жилых домов различных застройщиков регулярно в воздухе помещений фиксируются превышения установленных ПДК содержания газообразного аммиака [4].

Очевидно, что предотвратить эмиссию аммиака в воздух помещений возможно организацией системы контроля применяемого в строительстве бетона, а также проверки строительных материалов для выявления случаев превышения в них ПДК амидного азота.

Цель статьи – представить результаты исследований, в ходе которых предложена методика расчета ПДК мочевины в бетоне и предельно допустимой концентрации амидного азота в бетонной смеси.

### Способы снижения эмиссии аммиака из бетона

В бетоне происходит гидролиз аммониевых соединений и гидратация портландцемента с образованием различных химических соединений, в том числе в результате гидролиза содержащейся в бетоне мочевины  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  появляется аммиак, который адсорбируется в порах бетона [1].

В результате аммиак может выделяться из бетонной конструкции в воздух помещения в концентрациях, превышающих ПДК.

В настоящее время задача снижения эмиссии аммиака в воздушную среду жилых помещений решается в двух направлениях [5]:

- уменьшение концентрации азотосодержащих веществ в поступающем на стройку сырье;
- нейтрализация опасных воздействий азотосодержащих веществ как в сырьевых компонентах, так и в готовых бетонных смесях.

Для нейтрализации опасных воздействий азотосодержащих веществ в бетонных смесях и предотвращения эмиссии аммиака в воздушную среду помещений предложены следующие способы [2, 3, 5, 6]:

- уменьшение пористости строительных конструкций (способ кольматирования);
- введение пуццолановой добавки в цементное вяжущее;
- нанесение на поверхность бетонной конструкции нейтрализатора аммиака – OxRed;
- обработка затвердевшего бетона поврежденных строительных конструкций специальным композитным материалом.

*В первом способе* разработан процесс кольматирования, включающий в себя два этапа:

- использование специальной смеси гранитной пыли и жидкого стекла («Гранит») для грунтования поверхности бетонной конструкции;
- «консервация» аммиака в порах бетона с помощью полиуретановой композиции «Элакор-ПУ», которая наносится на поверхность бетона.

Газообразные продукты, в том числе и аммиак, «консервируются» в порах бетона, что по мере накопления газообразных продуктов может обусловить негативные изменения структуры бетона. В этом заключается недостаток предложенного способа нейтрализации аммиака.

*Во втором способе* используют пуццолановую добавку, в которой применяется зольная пыль. В золу-унос (зольную пыль), которая содержит аммиак, добавляется либо

окислитель в виде гипохлоритов кальция, лития и натрия ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ,  $\text{LiOCl}$ ,  $\text{NaOCl}$ ), либо трихлоризоциануровая кислота ( $\text{C}_3\text{N}_3\text{O}_3\text{Cl}_3$ ). В результате химической реакции аммиака и гипохлорита появляются монохлорамин и хлористые соли, которые безвредны в низких концентрациях для бетона. Монохлорамин и хлористые соли являются стабильными и не рассеиваются в воздухе (патент US 2003205173 МПКА62D 3/00; А62D 3/38; С04В 18/08; G01N 33/00; G01N 33/38; А62D 101/08; А62D 101/45; IPC 1-7: B01J 8/00; С04В 18/06 от 6 ноября 2003 г.). Недостатком этого метода является ограниченность применения.

В третьем способе для нанесения на поверхность бетонной конструкции используется нейтрализатор аммиака – OxRed, разработанный с добавлением фуллеренов – углеродных кластеров фуллероидного типа, которые модифицируют раствор окислителя, стабилизируют его структуру и тем самым способствуют проникновению окислителя вглубь бетона [2].

По мере усиления пенетрационных свойств раствора окислителя увеличивается глубина его проникновения в поры бетона. При этом возрастает эффективность окислительно-восстановительной реакции в порах бетона с мочевиной и другими примесями, содержащими аммоний. Процесс превращения аммиака под действием окислителя в азот сопровождается интенсивным газообразованием. При необходимости (в зависимости от концентрации аммиака в бетоне) поверхность бетона обрабатывают два раза.

В четвертом способе на затвердевший бетон поврежденных строительных конструкций, содержащих мочевины (противоморозные добавки), воздействуют композиционным материалом (патент SK 151099 МПК С04В 41/00, С04В 41/53, С04В 41/00 от 11 июня 2001 г.).

Активным веществом композиционного материала (композита) могут являться неорганические и/или органические кислоты (фосфорная кислота, лимонная кислота, винная кислота, паратолуолсульфокислота, бензойная кислота, щавелевая кислота).

Кислота композита реагирует с аммиаком, а в результате этого химического взаимодействия образуется соль аммония, которая находится в инертном и устойчивом состоянии в воздушной среде помещения. Недостатком метода является вероятность неполного связывания аммиака активным веществом вследствие глубокого и быстрого проникновения композиционного материала в бетонную конструкцию.

### Методы исследования

ООО «Испытательный Центр» (Санкт-Петербург) совместно с кафедрой «Системы жизнеобеспечения объектов военной инфраструктуры» Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева при проведении исследований [2, 3, 7–10] предложена методика расчета допустимой концентрации мочевины в бетонной смеси, не приводящей к превышению концентрации аммиака в помещениях при их эксплуатации выше заданного значения.

Для температуры эксплуатации помещений  $25^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха в помещении 50 % расчет предельной допустимой концентрации (ПДК) мочевины в бетоне производится по формуле:

$$K_{\text{МБ}} = 10175 \frac{A_{\text{ПДК}} K_{\text{ВО}}}{\Pi_{\text{БП}} \ln \frac{B_{\text{УБП}}}{12,827}}, \quad (1)$$

где  $K_{\text{МБ}}$  – предельно допустимая концентрация мочевины в бетоне (мг/кг);  
 $A_{\text{ПДК}}$  – предельная допустимая концентрация аммиака в воздухе помещений (мг/м<sup>3</sup>);

$K_{BO}$  – расчетная кратность воздухообмена в помещении ( $\text{час}^{-1}$ );  $P_{БП}$  – площадь бетонных поверхностей, выходящих в помещение, в расчете на единицу объема помещения ( $\text{м}^2/\text{м}^3$ );  $V_{УБП}$  – усредненная масса бетона, приходящаяся на единицу площади бетонных поверхностей ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ).

Санитарно-гигиеническими нормативами (ГН 2.1.6.1338–03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест») установлены предельные допустимые концентрации аммиака ( $A_{ПДК}$ ): среднесуточная ПДК составляет  $0,04 \text{ мг}/\text{м}^3$ , а разовая –  $0,2 \text{ мг}/\text{м}^3$ .

Если в помещении находятся зоны с различной кратностью воздухообмена (например, жилые комнаты, кухня и т.п. в квартире), в расчет принимается минимальная кратность воздухообмена.

Площадь бетонных поверхностей, выходящих в помещение  $P_{БП}$ , включает все бетонные поверхности: полы, потолки, несущие и ненесущие бетонные стены. При этом принимается в расчет площадь только тех поверхностей, которые выходят в данное помещение.

При расчете усредненной массы бетона  $V_{УБП}$  учитывается общий вес бетонных конструкций и их общая площадь поверхности, не только выходящая внутрь помещения, для которого осуществляется расчет, но и в другие помещения.

### Результаты исследований и их обсуждение

Рассмотрим этапы предложенной методики расчета допустимой концентрации мочевины в бетонной смеси, не приводящей к превышению концентрации аммиака в помещениях при их эксплуатации выше заданного значения, на примере расчета ПДК мочевины в бетоне при заданных параметрах жилого помещения.

1. Исходные параметры жилого помещения:

- площадь квартиры –  $54 \text{ м}^2$ , объем –  $150 \text{ м}^3$ ;
- площадь бетонных стен, выходящих в квартиру –  $103 \text{ м}^2$ ;
- толщина стен и перекрытий –  $16 \text{ см}$ .

Все стены, верхнее и нижнее перекрытия – бетонные.

ПДК мочевины  $A_{ПДК}=0,04 \text{ мг}/\text{м}^3$ , расчетная кратность воздухообмена в помещении  $K_{BO}$  согласно проектной документации составляет  $0,5 \text{ час}^{-1}$ .

2. Расчет ПДК мочевины жилого помещения:

2.1. Площадь бетонных поверхностей, выходящих в помещение, в расчете на единицу объема помещения  $P_{УБП}$  равна:

$$\frac{\text{площадь пола} + \text{площадь потолка} + \text{площадь бетонных стен}}{\text{объем квартиры}} = \frac{54 + 54 + 103}{150} = \frac{211}{150} = 1,407 \text{ м}^2/\text{м}^3.$$

2.2. Общий вес бетонных конструкций (плотность бетона равна  $2\,400 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) равен:

$$(54 + 54 + 103) \cdot 0,16 \cdot 2\,400 = 81\,024 \text{ кг}.$$

2.3. Площадь поверхностей бетонных конструкций составит:

$$211 \cdot 2 = 422 \text{ м}^2.$$

2.4. Усредненная масса бетона, приходящаяся на единицу площади бетонных поверхностей:

$$B_{убп} = \frac{Вес}{Площадь} = \frac{81024}{422} = 192 \text{ кг/м}^2.$$

2.5. ПДК мочевины в бетоне по формуле (1):

$$K_{мб} = \frac{10175 \cdot 0,04 \cdot 0,5}{1,407 \ln \frac{192}{12,827}} = \frac{203,5}{1,407 \ln 14,827} \approx 53,5 \text{ мг/кг}.$$

Таким образом, чтобы обеспечить ПДК по аммиаку содержание мочевины в бетоне не должно превышать 53 мг/кг.

2.6. Масса бетонных конструкций (толщина стен и верхнего перекрытия – 16 см, а толщина нижнего перекрытия – 30 см) составит:

$$M = (54+103) \cdot 0,16 + 54 \cdot 0,30 \cdot 2400 = 99\,168 \text{ кг}.$$

2.7. Усредненная масса бетона, приходящаяся на единицу площади бетонных поверхностей, будет равна:

$$B_{убп} = \frac{Масса}{Площадь} = \frac{99168}{422} \approx 235 \text{ кг/м}^2.$$

2.8. ПДК мочевины в бетоне равна:

$$K_{мб} = \frac{10175 \cdot 0,04 \cdot 0,5}{1,407 \ln \frac{235}{12,827}} = \frac{203,5}{1,407 \ln 18,321} \approx 49,7 \text{ мг/кг}.$$

2.9. Предельно допустимая масса амидного азота в 1 кг бетона равна:

$$m_{амидного азота} = \frac{49 \cdot 32}{60} = 26,13 \left( \frac{мг}{кг} \right),$$

где 49 мг/кг – ПДК мочевины в бетоне; 32 г/моль – содержание амидного азота в мочеvine (с учетом двух амидных групп); 60 г/моль – молярная масса мочевины.

3. С учетом допустимой погрешности измерений в эксперименте (25 %) ошибку результатов расчетов принимаем равной 20 % и получаем ПДК амидного азота:

$$m_{амидного азота} = 26,13 \times 0,8 = 20,904 \left( \frac{мг}{кг} \right).$$

Таким образом, ПДК амидного азота в бетоне не более 20 мг/кг.

В таблице приведен расчет количества амидного азота на 1 кг цемента при приготовлении бетонной смеси [11, 12].

Соответственно, если до начала строительных работ выявлено, что содержание амидного азота в бетонной смеси превышает 20 мг/кг, то применение данной смеси на объекте строительства является недопустимым и должно быть запрещено.



Таблица

Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> БС	Количество, кг	Количество цемента на 1 кг БС	Количество (мг) амидного азота, допустимое на 1 кг цемента
Цемент, кг	375	$375/2 \ 377,7 =$	$20/0,1578 =$
Песок, кг	790		
Щебень, кг	1 030		
Добавка «Glenium 323 MIX», кг	2,7		
Вода, кг	180		
<b>Всего вес</b>	<b>2 377,7</b>	<b>0,157715439</b>	<b>126,8106667</b>
Цемент, кг	389,96	$389,96/2395,74 =$	$20/0,1627 =$
Песок, кг	849,46		
Щебень, кг	1 024,5		
Добавка «Glenium 323 MIX», кг	2,77		
Вода, кг	129,05		
<b>Всего вес</b>	<b>2 395,74</b>	<b>0,162772254</b>	<b>122,8710637</b>

### Заключение

В ООО «Испытательный Центр» (Санкт-Петербург) совместно с кафедрой «Системы жизнеобеспечения объектов военной инфраструктуры» Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева предложена методика расчета ПДК мочевины в бетоне и ПДК амидного азота в бетонной смеси.

Результаты проведенных исследований подтверждены протоколами лабораторных испытаний в ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге и Ленинградской области».

Представленные результаты исследований позволяют продолжить разработку экспериментальной методики определения амидного азота в строительных материалах.

### Список источников

1. Шиманов В.Н. Проблема эмиссии аммиака из бетонных конструкций // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5.
2. Отчет НИР № Гос. регистрации 01201065826. СПб.: ГАСУ, 2011.
3. Сивков С.П. Эмиссия аммиака из цементных бетонов // Технологии бетона. 2012. № 5-6. С. 15–17.
4. Опасный бетон: как стройматериал вредит здоровью новоселов // Новострой-М. URL: [https://www.novostroy-m.ru/intervyu/opasnyy\\_beton-](https://www.novostroy-m.ru/intervyu/opasnyy_beton-) (дата обращения: 16.11.2022).
5. Азот в строительстве: особенности и способы применения // Промтехгаз. URL: <http://xn--80affkvlgiu5a.xn--p1ai/azot-v-stroitelstve-osobennosti-i-sposoby-primeneniya/> (дата обращения: 13.03.2023).
6. Эмиссия аммиака из бетонных конструкций и методы ее снижения / Ю.В. Пухаренко [и др.] // СтройПРОФИ. 2013. № 10.
7. Санитарно-химические исследования изделий, изготовленных из полимерных и других синтетических материалов, контактирующих с пищевыми продуктами. Приложение 22 к инструкции 2.3.3.10-15-64–2005 // Библиотека нормативной документации. URL: <http://www.files.stroyinf.ru> (дата обращения: 16.11.2022).

8. НД № 01–07. Методические рекомендации по анализу объектов неизвестного состава методами хромато-масс-спектрометрии, газовой и высокоэффективной жидкостной хроматографии, атомно-абсорбционной спектрометрии, масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.02.2023).

9. НД 01.11.32. Методика измерений массовой доли амидного азота в строительных материалах // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.02.2023).

10. СанПин 2.1.2.729–99. Полимерные и полимерсодержащие строительные материалы, изделия и конструкции. Гигиенические требования безопасности // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.02.2023).

11. ГН 21.6.1338–03. ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест, определение миграции аммиака в воздушную среду // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.02.2023).

12. ГН 2.1.61338–03. Атмосферный воздух и воздух закрытых помещений. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические требования // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.02.2023).

## References

1. Shimanov V.N. Problema emissii ammiaka iz betonnyh konstrukcij // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012. № 5.

2. Otchet NIR № Gos. registracii 01201065826. SPb.: GASU, 2011.

3. Sivkov S.P. Emissiya ammiaka iz cementnyh betonov // *Tekhnologii betona*. 2012. № 5-6. S. 15–17.

4. Opasnyj beton: kak strojmaterial vredit zdorov'yu novoselov // *Novostroy-M*. URL: [https://www.novostroy-m.ru/intervyu/opasnyj\\_beton-](https://www.novostroy-m.ru/intervyu/opasnyj_beton-) (data obrashcheniya: 16.11.2022).

5. Azot v stroitel'stve: osobennosti i sposoby primeneniya // *Promtekhgaz*. URL: <http://xn--80affkvlgiu5a.xn--p1ai/azot-v-stroitelstve-osobennosti-i-sposoby-primeneniya/> (data obrashcheniya: 13.03.2023).

6. Emissiya ammiaka iz betonnyh konstrukcij i metody ee snizheniya / Yu.V. Puharenko [i dr.] // *StrojPROFI*. 2013. № 10.

7. Sanitarno-himicheskie issledovaniya izdelij, izgotovlennyh iz polimernyh i drugih sinteticheskikh materialov, kontaktiruyushchih s pishchevymi produktami. Prilozhenie 22 k instrukcii 2.3.3.10-15-64–2005 // *Biblioteka normativnoj dokumentacii*. URL: <http://www.files.stroyinf.ru> (data obrashcheniya: 16.11.2022).

8. ND № 01–07. Metodicheskie rekomendacii po analizu ob"ektov neizvestnogo sostava metodami hromato-mass-spektrometrii, gazovoj i vysokoeffektivnoj zhidkostnoj hromatografii, atomno-absorbicijonnoj spektrometrii, mass-spektrometrii s induktivno-svyazannoj plazmoj // *Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnikeskij dokumentacii*. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 21.02.2023).

9. ND 01.11.32. Metodika izmerenij massovoj doli amidnogo azota v stroitel'nyh materialah // *Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnikeskij dokumentacii*. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 21.02.2023).

10. SanPin 2.1.2.729–99. Polimernye i polimersoderzhashchie stroitel'nye materialy, izdeliya i konstrukcii. Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti // *Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnikeskij dokumentacii*. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 21.02.2023).

11. GN 21.6.1338–03. PDK zagryaznyayushchih veshchestv v atmosfernom vozduhe naselennyh mest, opredelenie migracii ammiaka v vozdushnuyu sredu // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 21.02.2023).

12. GN 2.1.61338–03. Atmosfernyj vozduh i vozduh zakrytyh pomeshchenij. Predel'no dopustimye koncentracii zagryaznyayushchih veshchestv v atmosfernom vozduhe naselennyh mest. Gigienicheskie trebovaniya // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 21.02.2023).

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 16.03.2023; одобрена после рецензирования: 29.03.2023; принята к публикации: 07.04.2023

#### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 16.03.2023; approved after review: 29.03.2023; accepted for publication: 07.04.2023

#### *Информация об авторах:*

**Медведева Людмила Владимировна**, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы, e-mail: [luvlmed@mail.ru](mailto:luvlmed@mail.ru)

**Макарчук Галина Васильевна**, доцент кафедры военной архитектуры, автоматизированных систем проектирования, естественно-научных дисциплин Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва (199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8), кандидат педагогических наук, доцент

**Бранцевич Геннадий Владимирович**, генеральный директор ООО «Испытательный центр» (196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 25, к. 1), e-mail: [<icentrspb@bk.ru>](mailto:icentrspb@bk.ru)

#### *Information about the authors:*

**Medvedeva Lyudmila V.**, professor of the department of physical and technical fundamentals of fire safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of pedagogical sciences, professor, honored worker of higher education, e-mail: [luvlmed@mail.ru](mailto:luvlmed@mail.ru)

**Makarchuk Galina V.**, associate professor of the department of military architecture, automated design systems, natural sciences of the Military institute (engineering and technical) Military academy of logistics named after general of the army A.V. Khrulev (199034, Saint-Petersburg, nab. Makarova, 8), candidate of pedagogical sciences, associate professor

**Brantsevich Gennady V.**, general director of LLC «Test center» (196158, Saint-Petersburg, Moskovskoe sh., 25, building 1), e-mail: [<icentrspb@bk.ru>](mailto:icentrspb@bk.ru)

Научная статья

УДК 537.567; 533.9.07; 537.57; 533.9.08

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЕЩЕСТВ, ОБРАБОТАННЫХ В РЕАКЦИОННОЙ КАМЕРЕ СВЧ-ПЛАЗМАТРОНА**

✉Самсалиев Анвар Амантаевич.

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова,

г. Бишкек, Кыргызстан

✉kazas@mail.ru

*Аннотация.* Исследования температурных и спектральных изменений веществ, обработанных в реакционной камере СВЧ-плазматрона, разработанной и запатентованной автором, позволит обоснованно выбирать технологические режимы обработки неметаллических материалов в твердом виде или жидком состоянии. Приведенные данные изменения температуры и спектра от вида веществ в реакционной камере, располагаемых в ней и переходящих в плазменное состояние, расширит познания в области плазменных технологий.

*Ключевые слова:* экологическая безопасность, энергосберегающие технологии, температуры и спектры веществ, обработанных в реакционной камере, СВЧ-плазматрон, спектрометр, плазменное состояние, обработка неметаллических материалов в твердом и жидком состоянии, термообработка

**Для цитирования:** Самсалиев А.А. Исследование температурных и спектральных изменений веществ, обработанных в реакционной камере СВЧ-плазматрона // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 197–205.

Scientific article

## **INVESTIGATION OF TEMPERATURE AND SPECTRAL CHANGES OF SUBSTANCES TREATED IN THE REACTION CHAMBER OF A MICROWAVE PLASMATRON**

✉Samsaliev Anvar A.

Kyrgyz state technical university named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyzstan

✉kazas@mail.ru

*Abstract.* Studies of temperature and spectral changes of substances processed in the reaction chamber of the microwave plasmatron, developed and patented by the author, will make it possible to reasonably choose the technological modes of processing non-metallic materials in solid or liquid state. The given data of temperature and spectrum changes depending on the type of substances in the reaction chamber, located in it and passing into the plasma state, will expand our knowledge in the field of plasma technologies.

*Keywords:* environmental safety, energy-saving technologies, temperatures and spectra of substances processed in the reaction chamber, microwave plasmatron, spectrometer, plasma state, processing of non-metallic materials in solid and liquid state, heat treatment

**For citation:** Samsaliev A.A. Investigation of temperature and spectral changes of substances treated in the reaction chamber of a microwave plasmatron // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 197–205.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

## Введение

Как известно, во всем мире работают над разработкой комплексной проблемы энергосберегающих технологий с глубокой переработкой природных ресурсов, использующих физические явления, которые открывают новые возможности повышения энергомассообмена [1]. Разработка теоретической и экспериментальной баз и основ для проектирования промышленных массообменных аппаратов нового класса для таких процессов на основе явления СВЧ плазменных устройств создает возможности уменьшения энергопотребления, значительного повышения экологической безопасности и улучшения условий труда [2–4]. Технология микроволновой плазмы (MWP) в последнее время используется в таких областях, как обработка полупроводников и материалов, осаждение алмазных пленок и восстановление отходов для обработки неметаллических веществ в твердой или жидкой среде. Преимущества СВЧ плазменных технологий включают возможность использования источника с высокой плотностью энергии и высоко реактивной средой, малые эксплуатационные затраты, быстрое время отклика на изменения на входе и новые физико-химические эффекты. Эти аспекты делают MWP многообещающей технологией, альтернативной традиционным термическим химическим реакторам, при условии, что будут преодолены определенные технические и эксплуатационные проблемы, связанные с масштабируемостью [5–7].

В предыдущих исследованиях автора приводятся примеры обработки СВЧ плазменным воздействием твердых и жидких веществ в реакционной камере СВЧ-плазматрона. Описаны принципы действия, схемы подачи твердых и жидких веществ в реакционную камеру. Результаты исследований отражены в публикациях [8–11]. Возникла необходимость исследования и измерения температурных и спектральных изменений веществ, обработанных в реакционной камере.

### Методика обработки веществ в реакционной камере СВЧ-плазматрона

В данной статье для измерения физических параметров рассматривается лабораторная СВЧ-установка с резонаторной камерой призматического типа 3 для обжига неметаллических материалов, внутри которой имеется реакционная камера 5, переводящая вещества в плазменное состояние 4 (рис. 1).

Плазменное состояние веществ 4 возбуждается источником СВЧ-волн – магнетроном 1 с частотой излучения 2 450 МГц и удерживается специальной реакционной керамической конусной формой 5 (рис. 1).

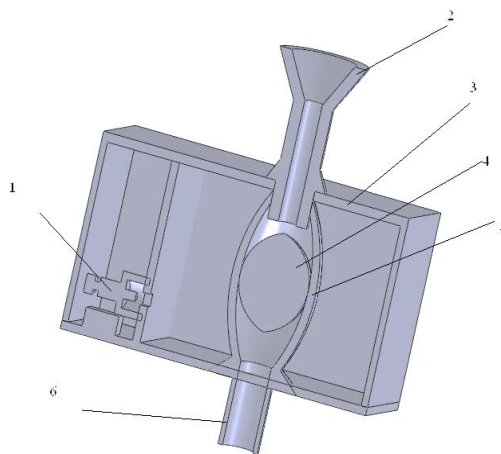


Рис. 1. Конструкция рассматриваемого СВЧ-плазматрона: 1 – магнетрон; 2 – подающая направляющая; 3 – резонаторная камера; 4 – область плазменного состояния веществ; 5 – конусная реакционная камера; 6 – отводящая направляющая

Для исследования температурных изменений различных веществ, помещенных в реакционную камеру, был использован тепловизор FLIR T1020 с диапазоном измерения от 40 до 2 000 °С и чувствительностью 0,02 °С.

### **Методика спектрального анализа веществ, обработанных в реакционной камере СВЧ-плазматрона**

Для проведения исследований по спектральному анализу веществ, располагаемых в реакционной камере, автором изготовлен спектрометр из подручных материалов. Прежде в конструкциях использовали призмы для разделения луча света на его составляющие и поворотный окуляр для измерения углового отклонения каждой составляющей длины волны. Однако совсем недавно призма была заменена дифракционной решеткой, которая служит той же цели, что и призма, а окуляр заменен массивом электронных фоторецепторов или видеокамерой, подключенным к компьютеру.

Была изготовлена конструкция спектрометра, собранная по следующей схеме (рис. 2). Корпус можно сделать из любого картона. Внутренняя поверхность не должна отражать свет, так как картинка будет засвечена, можно закрасить внутреннюю поверхность черным маркером. Затем скотчем или клеем соединяем части, чтобы получилась коробка.

Для начала устройство следует откалибровать. Надо поставить спектрометр на уровне источника света на расстоянии примерно 15 см. Затем в качестве эталона берем светодиодную лампу (лучше брать люминесцентную лампу, с ней можно более точно откалибровать), на экране можно увидеть его спектр, выделяем область, из которой мы хотим построить график (желтый прямоугольник), и ставим пиковые значения на свои места.

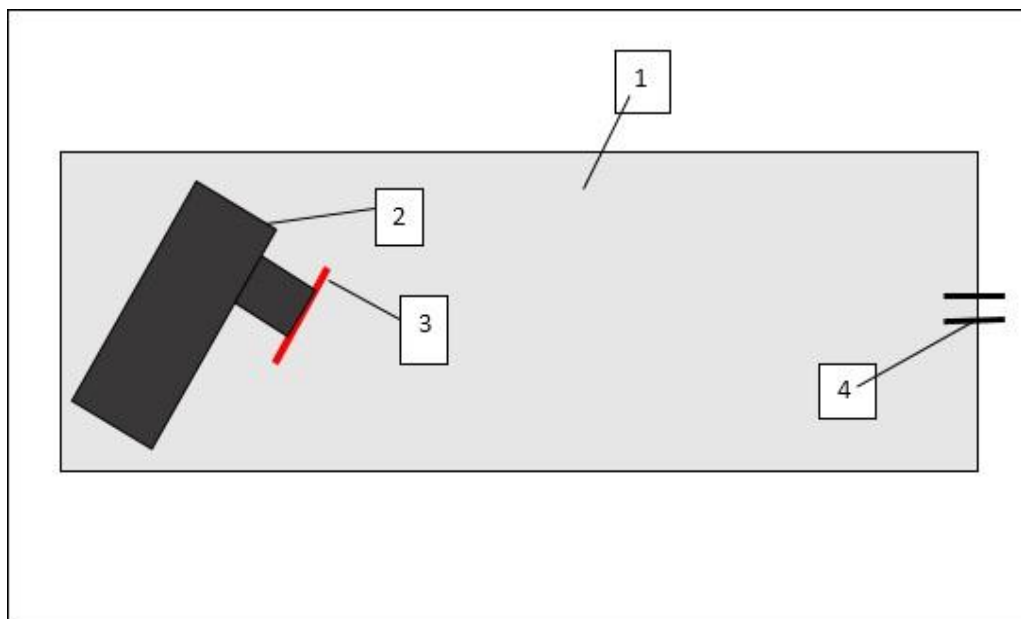


Рис. 2. Схема спектрометра: 1 – корпус спектрометра; 2 – веб-камера;  
3 – дифракционная решетка; 4 – щель

Далее в эксперименте была использована программа Theremino Spectrometer, скачанная с сайта [www.theremino.com](http://www.theremino.com). На рис. 3 приведена настройка приложения Theremino Spectrometer на компьютере.

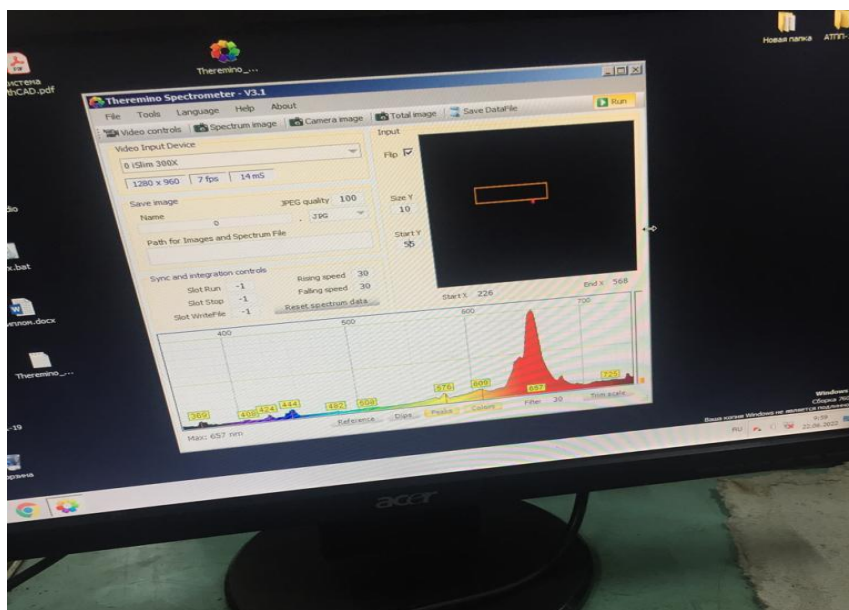


Рис. 3. Настройка приложения Theremino Spectrometer на компьютере

Для эксперимента по спектрометрии веществ в реакционной камере был использован как источник спектра СВЧ-плазматрон и для фиксации – спектрометр, рассмотренный выше (рис. 4).

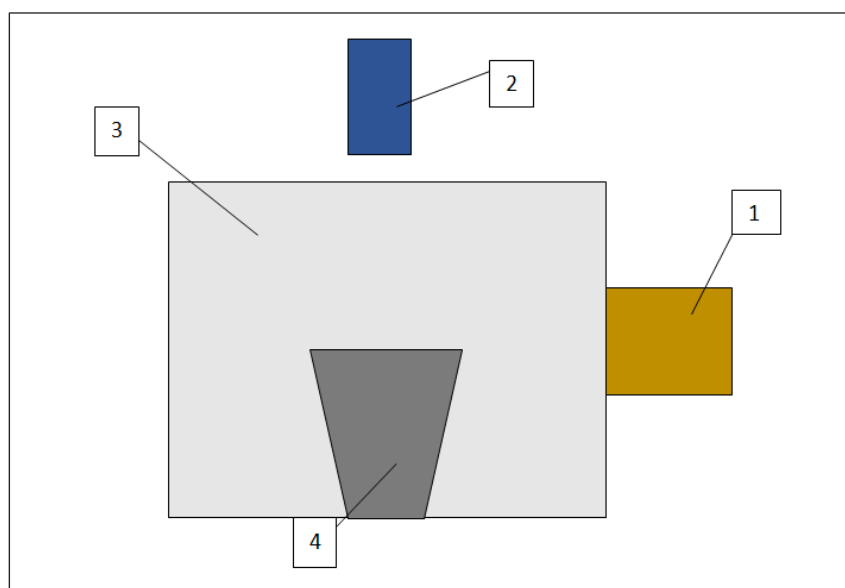


Рис. 4. Схема расположения СВЧ-плазматрона и спектрометра: 1 – магнетрон; 2 – спектрометр; 3 – резонаторная камера; 4 – реакционная камера для нагрева образца

### Результаты исследования температурных изменений веществ, обработанных в реакционной камере СВЧ-плазматрона

Первый эксперимент проведен с древесным углем, с помощью тепловизора измерили температуру внутри реакционной камеры. Как видно из рис. 5, самое высокое значение температуры вблизи ядра составило 887,1 °С.



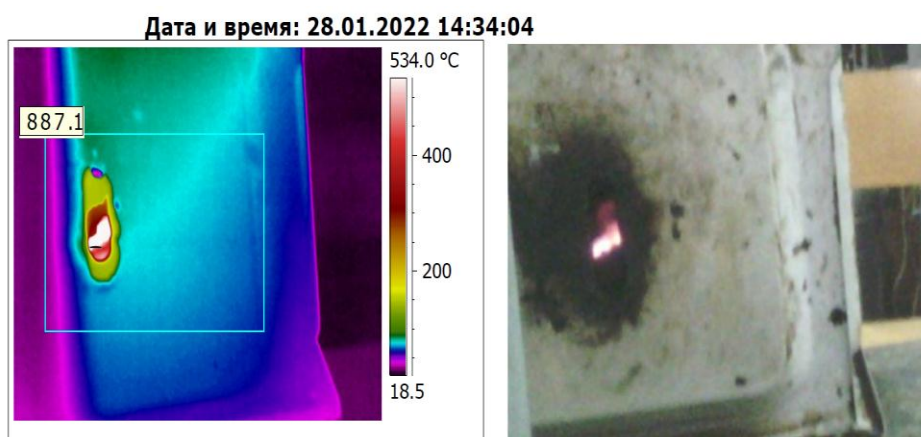


Рис. 5. Исследование температуры древесного угля в реакционной камере СВЧ-плазматрона

Второй эксперимент провели с бурым углем месторождения Кара-Кече, с помощью тепловизора измерили температуру внутри реакционной камеры. Как видно из рис. 6, высокое значение температуры вблизи ядра составило 1 182,4 °C.

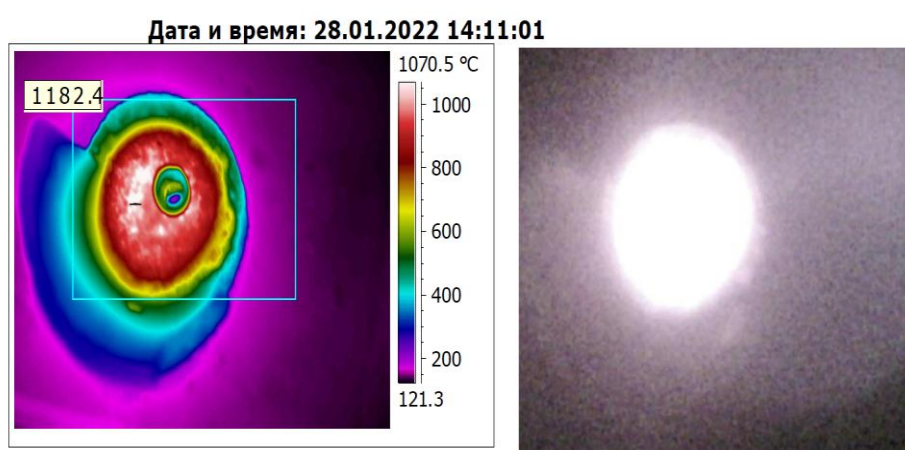


Рис. 6. Исследование температуры бурого угля в реакционной камере СВЧ-плазматрона

Третий эксперимент провели со смесью древесного угля с песком, с помощью тепловизора измерили температуру внутри реакционной камеры. Как видно из рис. 7, высокое значение температуры вблизи ядра составило 1 271,1 °C.

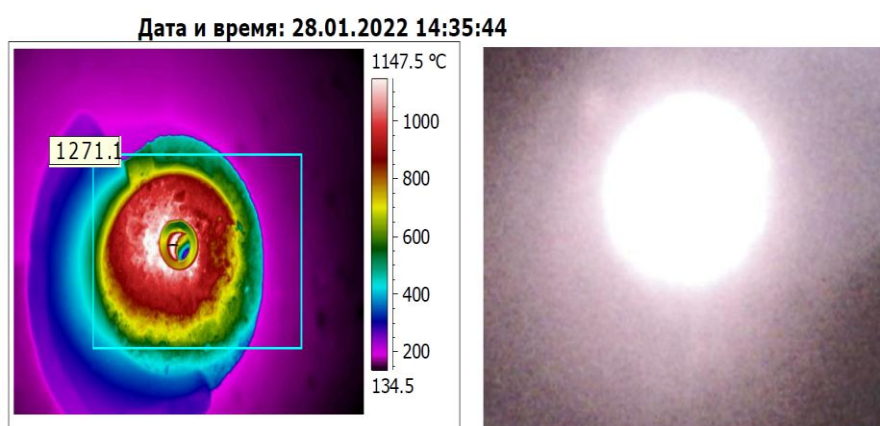


Рис. 7. Исследование температуры смеси древесного угля с песком в реакционной камере СВЧ-плазматрона



## Результаты анализа спектральных характеристик веществ, обработанных в реакционной камере СВЧ-плазматрона

Эксперимент был проведен с древесным углем, с помощью спектрометра зафиксировали спектр света, исходящий от раскаленного древесного угля (рис. 8, 9).

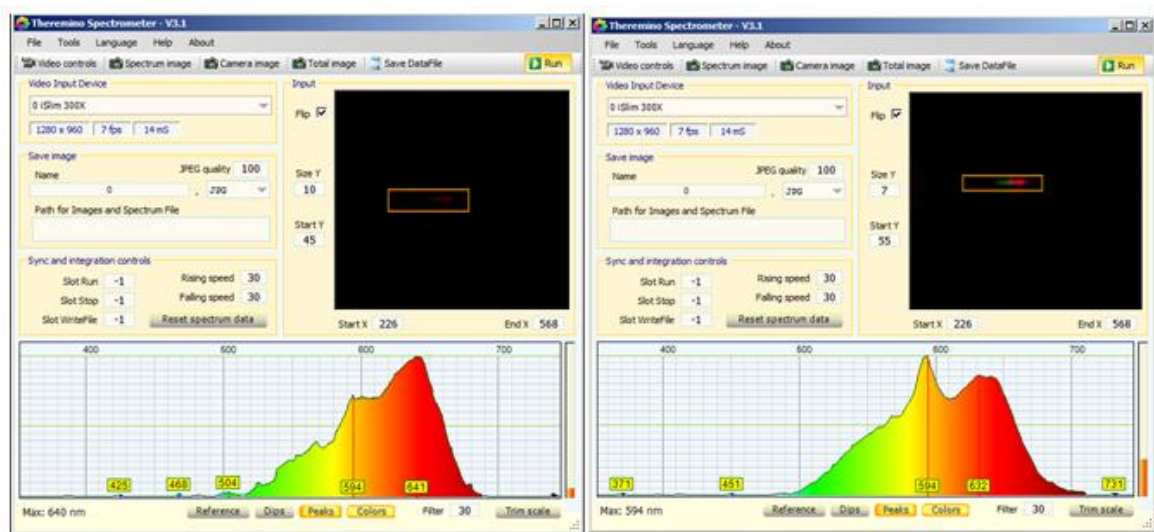


Рис. 8. Спектры излучения угля в начале нагрева

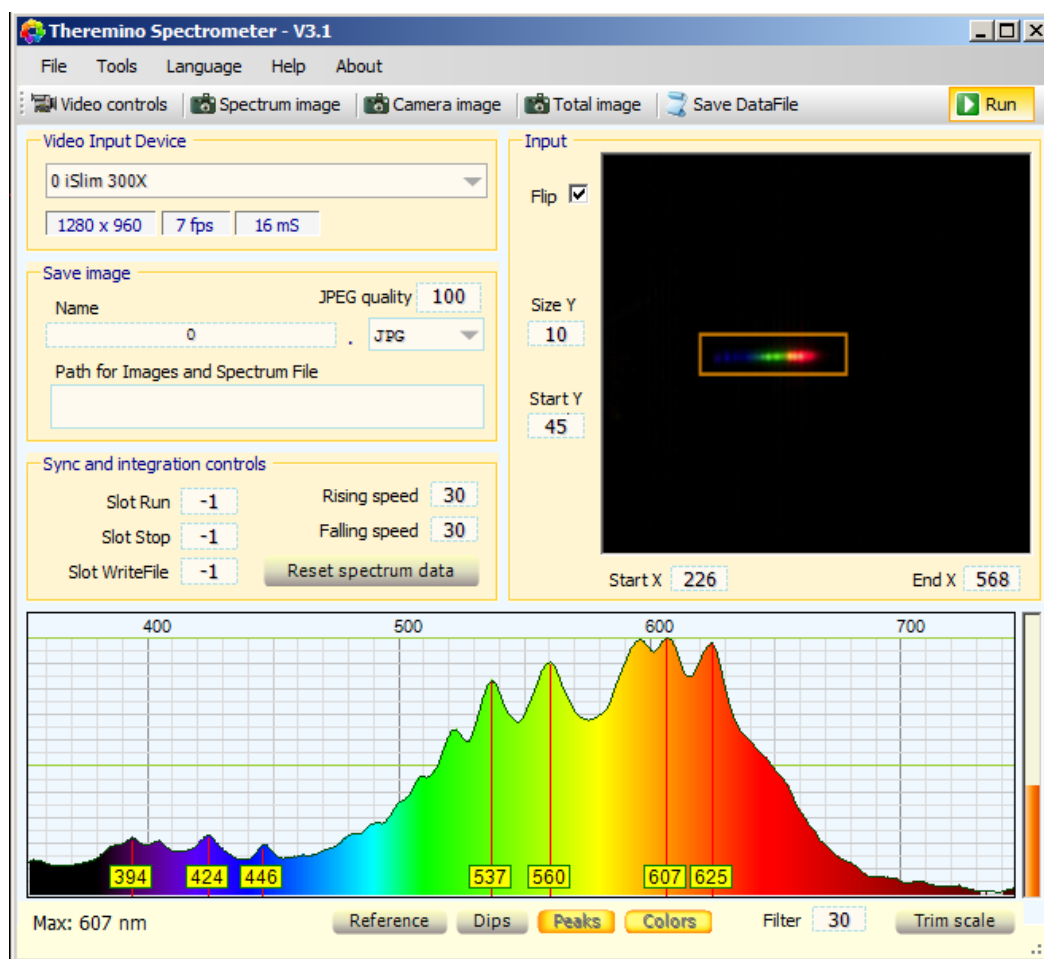


Рис. 9. Спектр излучения древесного угля в раскаленном состоянии  $\approx 900\text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 10 можно четко увидеть пики спектра и выявить вещества, исходящие от древесного угля. Точность составляет примерно  $\pm 30$  нм.

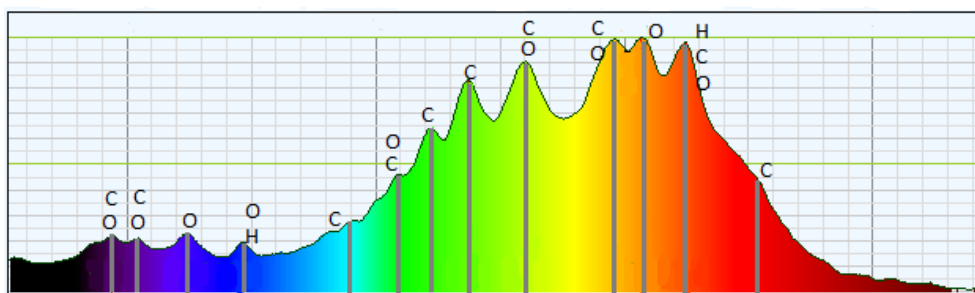


Рис. 10. Спектр излучения древесного угля

Также можно увидеть примерное расположение пиков спектров атомов углерода, водорода и кислорода. Отмечаем, что они здесь присутствуют. Следовательно, при горении древесного угля излучаются и фиксируются характерные сигналы атомов кислорода, водорода, углерода.

### Заключение

Приведенные данные температурных и спектральных изменений веществ, обработанных в реакционной камере, позволят в дальнейшем использовать полученные результаты при проектировании плазмохимических реакторов для обжига неметаллических материалов в сухом твердом виде или для спекания тугоплавких материалов. Знания физических значений изменений веществ в реакционной камере позволят проектировать плазмохимические реакторы для многоступенчатого фракционного разделения жидких веществ.

### Список источников

1. Туманов Ю.Н., Туманов Д.Ю. Плазменные технологии в формировании нового облика промышленного производства в XXI столетии // Новые промышленные технологии. 2006. № 1. С. 14–28.
2. Буров В.Ф., Стрижко Ю.В. СВЧ-плазмотрон со свободно парящим плазмоидом // Горение твердого топлива: сб. докл. VI Всерос. конф. Новосибирск: ИТ СО РАН, 2006.
3. Индуктивно связанная плазма низкого давления – источник ионов для масс-спектрометрии / М.А. Карташева [и др.] // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2004. № 13. С. 91–98.
4. Разработка детектора ионов на основе время-проекционной камеры низкого давления для ускорительной масс-спектрометрии / А.Е. Бондарь [и др.] // Ядерная физика. 2021. Т. 84. № 1. С. 67–72.
5. Microwave plasma technology for sustainable energy production and the electromagnetic interaction within the plasma system: A review / A. Zamri [et al.] // Environmental research. 2021. Vol. 197(15):111204. ISSN 0013-9351. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111204.
6. Microwave plasma emerging technologies for chemical processes / Javier F de la Fuente [et al.] // Journal of chemical technology & biotechnology. 2017. Vol. 92. Iss. 10. P. 2495–2505.
7. Brandenburg J.E., Kline J., Sullivan D. The microwave electro-thermal (MET) thruster using water vapor propellant // IEEE transactions on plasma science. 2005. Vol. 33. № 2. P. 776–781.
8. Самсалиев А.А., Кожонов А., Топоркова Ю.И. Исследования по СВЧ-плазменной обработке хвостов пенной флотации // Твердотельные явления. Явления твердого тела. 2020. Vol. 299. С. 1044–1051. DOI: 10.4028/www.scientific.net/ssp.299.1044.

9. Самсалиев А.А. Устройство и способ плазменного обжига неметаллических материалов. Бишкек: Известия КГТУ им. И. Раззакова. 2013. № 29. С. 171–173.
10. Самсалиев А.А. Устройство и способ регулирования плазменного воздействия на жидкое состояние веществ. Бишкек: Известия КГТУ им. И. Раззакова. 2013. № 29. С. 174–177.
11. Самсалиев А.А. Способ и устройство регулирования плазменного воздействия на неметаллические твердые материалы. Бишкек: Вестник КГУСТА им. Н. Исанова. 2013. № 2. С. 145–149.

#### References

1. Tumanov Yu.N., Tumanov D.Yu. Plazmennye tekhnologii v formirovanii novogo oblika promyshlennogo proizvodstva v XXI stoletii // Novye promyshlennye tekhnologii. 2006. № 1. S. 14–28.
2. Burov V.F., Strizhko Yu.V. SVCH-plazmotron so svobodno paryashchim plazmoidom // Gorenie tverdogo topliva: sb. dokl. VI Vseros. konf. Novosibirsk: IT SO RAN, 2006.
3. Induktivno svyazannaya plazma nizkogo davleniya – istochnik ionov dlya mass-spektrometrii / M.A. Kartasheva [i dr.] // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki. 2004. № 13. S. 91–98.
4. Razrabotka detektora ionov na osnove vremya-proekcionnoj kamery nizkogo davleniya dlya uskoritel'noj mass-spektrometrii / A.E. Bondar' [i dr.] // Yadernaya fizika. 2021. T. 84. № 1. S. 67–72.
5. Microwave plasma technology for sustainable energy production and the electromagnetic interaction within the plasma system: A review / A. Zamri [et al.] // Environmental research. 2021. Vol. 197(15):111204. ISSN 0013-9351. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111204.
6. Microwave plasma emerging technologies for chemical processes / Javier F de la Fuente [et al.] // Journal of chemical technology & biotechnology. 2017. Vol. 92. Iss. 10. P. 2495–2505.
7. Brandenburg J.E., Kline J., Sullivan D. The microwave electro-thermal (MET) thruster using water vapor propellant // IEEE transactions on plasma science. 2005. Vol. 33. № 2. P. 776–781.
8. Samsaliev A.A., Kozhonov A., Toporkova Yu.I. Issledovaniya po SVCH-plazmennoj obrabotke hvostov pennoj flotacii // Tverdotel'nye yavleniya. Yavleniya tverdogo tela. 2020. Vol. 299. S. 1044–1051. DOI: 10.4028/www.scientific.net/ssp.299.1044.
9. Samsaliev A.A. Ustrojstvo i sposob plazmennogo obzhiga nemetallicheskih materialov. Bishkek: Izvestiya KGTU im. I. Razzakova. 2013. № 29. S. 171–173.
10. Samsaliev A.A. Ustrojstvo i sposob regulirovaniya plazmennogo vozdejstviya na zhidkoe sostoyanie veshchestv. Bishkek: Izvestiya KGTU im. I. Razzakova. 2013. № 29. S. 174–177.
11. Samsaliev A.A. Sposob i ustrojstvo regulirovaniya plazmennogo vozdejstviya na nemetallicheskie tverdye materialy. Bishkek: Vestnik KGUSTA im. N. Isanova. 2013. № 2. S. 145–149.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 20.02.2023; одобрена после рецензирования: 13.03.2023;  
принята к публикации: 04.04.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 20.02.2023; approved after review: 13.03.2023;  
accepted for publication: 04.04.2023

*Информация об авторах:*

**Самсалиев Анвар Амантаевич**, заведующий кафедрой автоматизации, робототехники и мехатроники Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (720044, Кыргызстан, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, д. 66), кандидат технических наук, доцент, e-mail: kazas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0007-2413>

*Information about the authors:*

**Samsaliev Anvar A.**, head of the department of automation, robotics and mechatronics of the Kyrgyz state technical university named after I. Razzakov (720044, Kyrgyzstan, Bishkek, Ch. Aitmatov ave, 66), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: kazas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0007-2413>

Научная статья  
УДК 504.064.4

## **ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

✉ Ударцева Ольга Владимировна.

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

✉ oblad@mail.ru

*Аннотация.* Современное состояние окружающей природной среды вызывает опасения в связи с нарастающей статистикой аварийных ситуаций на опасных производственных объектах. Предприятия хранения нефтепродуктов, помимо проблемы взрывопожароопасности, формируют угрозу загрязнения окружающей среды как следствие аварийных ситуаций. Несмотря на достигнутые результаты в оборудовании резервуарных парков средствами защиты от разливов, проблема загрязнения почвы остается актуальной.

В представленной статье описаны результаты исследования систем защиты почвенного слоя в прилегающей территории. Обоснована необходимость использования в качестве гидроизоляционного материала современного композита, который является экологически безопасным пластиком, отличается большей прочностью, устойчив к агрессивным средам, имеет высокую температуру плавления, обладает тепло- и морозостойкостью.

Использование данного материала позволяет исключить проникновение нефти в почвенный слой и предотвратить загрязнение прилегающих территорий.

*Ключевые слова:* экологическая безопасность, резервуары вертикальные стальные, аварийные разливы нефти

**Для цитирования:** Ударцева О.В. Проблемы экологической безопасности хранения нефтепродуктов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 206–213.

Scientific article

## **PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF PETROLEUM PRODUCTS STORAGE**

✉ Udartseva Olga V.

Tumen industrial university, Tumen, Russia

✉ oblad@mail.ru

*Abstract.* The current state of the environment raises concerns in connection with the growing statistics of emergencies at hazardous production facilities. Oil products storage enterprises, in addition to the problem of explosion and fire hazard, form the threat of environmental pollution as a consequence of emergency situations. Despite the results achieved in equipping tank farms with spill protection equipment, the problem of soil contamination remains relevant.

The presented article describes the results of the study of soil layer protection systems in the adjacent territory. The necessity of using a modern composite as a waterproofing material, which belongs to an environmentally friendly type of plastic, is more durable, resistant to contamination, has a high melting point, heat and frost resistance, is justified. The use of this material makes it possible to exclude the penetration of oil into the soil layer and prevent contamination of adjacent territories.

*Keywords:* environmental safety, vertical steel tanks, emergency oil spills

**For citation:** Udartseva O.V. Problems of environmental safety of petroleum products storage // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 206–213.

## Введение

Нефтегазовая отрасль в настоящее время занимает лидирующее положение в обеспечении безопасности и экономической устойчивости нашей страны.

С увеличением объема добываемой нефти, развитием промышленного производства возникает необходимость строительства и модернизации резервуарных парков, используемых для хранения нефтепродуктов.

Вместе с тем технологический процесс хранения нефти формирует проблемы не только промышленной, но и экологической безопасности [1–4].

В настоящее время резервуары вертикальные стальные наземные являются основным средством хранения нефтепродуктов, процесс эксплуатации которых сопровождается воздействием различных факторов с последующим развитием аварийных ситуаций и причинением вреда окружающей среде. Сравнительный анализ процентного соотношения причин аварий на предприятиях данной отрасли показал, что взрыв является основной причиной и составляет 35 % от анализируемых случаев. За восемь месяцев 2022 г. этот показатель вырос до 50 % [5–6].

Возникает необходимость обеспечения не только промышленной, но и экологической безопасности процесса хранения нефтепродуктов в резервуарном парке и прилегающей территории.

По статистическим данным, на предприятиях нефтехранения аварийные ситуации, сопровождающиеся разливом нефти, как правило, связаны с нарушением технологических процессов и эксплуатацией оборудования.

Технологический процесс хранения нефтепродуктов, кроме требований по оборудованию резервуаров, имеет обязательные нормативы по обустройству прилегающей территории [7–10].

Основным требованием для наземных резервуаров является наличие ограждающей стенки и обвалования по периметру, необходимое для защиты территории расположения парка от разливов.

Высота ограждающей стенки рассчитывается исходя из радиуса резервуара и объема хранящейся нефти.

По периметру резервуарных парков предусмотрено замкнутое обвалование. Согласно техническим требованиям замкнутое обвалование необходимо для исключения разлива нефти за территорию.

Предполагается, что площадь загрязненных земель при аварийной ситуации будет фактически определяться площадью обвалования.

Возникает необходимость предотвратить проникновение нефтепродуктов в почву на территории замкнутого обвалования с возможностью ее сбора и повторного использования, применением нового типа гидроизоляционного материала.

## Постановка задачи и расчетная часть

На основании вышеизложенного проведен расчет размера гидроизоляционного материала, необходимого для оборудования подстилающей поверхности, что не только предотвратит загрязнение почв, но и позволит собрать нефтепродукты после аварии.

Расчет проведен для резервуарного парка по следующим параметрам.

Группа резервуаров – РВС-5000 с нефтью расположены в обваловании площадью 6 400 м<sup>2</sup>. Полный объем одного резервуара – 5 000 л, диаметр резервуара – 22,804 м, высота резервуара – 12,345 м. Степень заполнения – 0,8. При аварии происходит полное разрушение одного из крайних резервуаров с выходом в обвалование 4 000 л нефти. Температура окружающего воздуха – 20 °С.

Расчет проведен согласно ГОСТ Р 533–2009 «Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности» [11] с учетом следующих параметров:  $V=5\,000\text{ м}^3$ ,  $D=22,804\text{ м}$ ,  $H=12,345\text{ м}$ .

Технологическая карта резервуарного парка с распространением зон чрезвычайной ситуации представлена на рисунке.

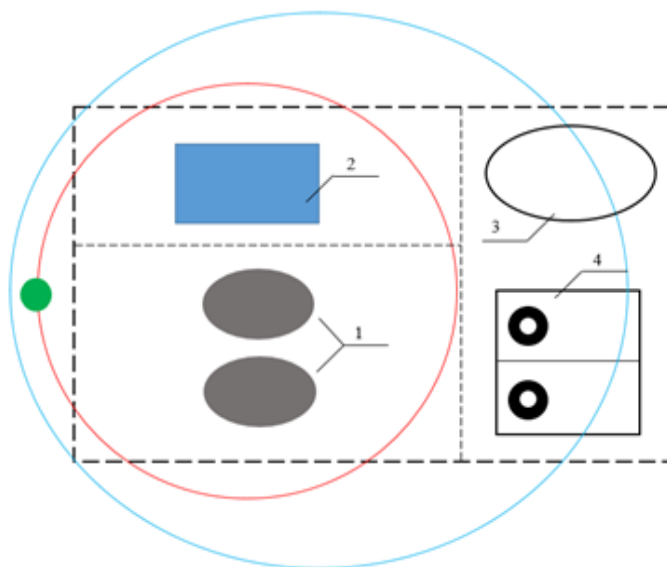


Рис. Карта резервуарного парка (схема расположения оборудования):

- Зона поражающего воздействия при пожаре
- Граница слабых разрушений
- Точка негативного воздействия на окружающую среду

1 – резервуары 5 000; 2 – емкость с техническим маслом;  
3 – емкость для стоков; 4 – модуль котельной

Расчет актуален, если выполнены следующие условия:

$$100 \leq V_i \leq 30000$$

$$3 \leq L \leq 30 \quad ,$$

где  $L$  – расстояние от вертикальной стены до стенки резервуара, 6,75 м;  $V_i$  – объем резервуара, м<sup>3</sup>.

Площадь обвалования с учетом  $a$  – ширина обвалования и  $b$  – длина обвалования:

$$S_{обв} = a \cdot b \quad ;$$

$$S_{обв} = a \cdot b = 80 \cdot 80 = 6\,400 \text{ м}^2.$$

При разрушении одного из четырех резервуаров проведен расчет площади обвалования.

Площадь уцелевших резервуаров:

$$S_{рез}^{ост} = \pi \frac{d^2}{4} \quad ,$$

где  $d$  – диаметр резервуара.

$$S_{рез}^{ост} = 3,14 \cdot \frac{22,804^2}{4} = 408,22 \text{ м}^2.$$

Площадь необходимого гидроизоляционного материала для обвалования:

$$S = 6400 - 408,22 = 5991,78 \text{ м}^2.$$

### Результаты исследования и предложения

В настоящее время в эксплуатации находится 80 % резервуаров, построенных в конце прошлого тысячелетия. Согласно проектному решению в качестве подстилающей поверхности использовано бетонное покрытие с гидроизоляционным основанием, не обеспечивающее в полной мере достаточного соблюдения норм экологической безопасности в связи с длительной эксплуатацией и природно-климатическими условиями.

Использование новых технологий в нефтегазовую отрасль направлено на обеспечение качества, эффективности при строительстве, эксплуатации и модернизации резервуаров для снижения вероятности возникновения чрезвычайной ситуации и причинение вреда природной среде [12].

С целью обеспечения экологической безопасности территорий, прилегающих к резервуарам, предлагается использование современных гидроизолирующих покрытий в качестве подстилающей поверхности.

Выбор подстилающей поверхности является важным этапом при проектировании строительства или модернизации резервуарного парка в связи с тем, что от ее технических характеристик зависит уровень загрязнения почвы и сила ударной (отраженной) волны при возникновении аварийной ситуации.

Способность предотвратить проникновение нефтепродуктов в почвенный слой определяется проницаемостью используемого материала (табл. 1).

Таблица 1

#### Технические характеристики используемых видов подстилающей поверхности

Тип поверхности	Коэффициент фильтрации, м/с	Пористость, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Бетон	$0,05 \cdot 10^{-11}$	17	2 000
Гидроизоляционный грунт	0,005	70	1 750

Лучшими техническими характеристиками обладает бетон, но вместе с тем бетон, применяемый в качестве подстилающей поверхности, увеличивает дальность действия ударной волны и при отражении частично разрушается, что создает экологическую проблему проникновения нефти в почву.

Анализ радиуса действия ударной волны от 2–100 кПа с учетом типа подстилающей поверхности представлен в табл. 2.

Таблица 2

#### Изменение радиуса действия отраженной от поверхности ударной волны с учетом давления

Тип поверхности	100 кПа	70 кПа	28 кПа	14 кПа	2 кПа
Бетон	18,26 м	26,91 м	46,12 м	134,52 м	269,03 м
Гидроизоляционный грунт	7,26 м	10,69 м	18,34 м	53,49 м	106,99 м



По приведенным характеристикам, указанным в табл. 2, в зависимости от типа подстилающей поверхности – бетона или гидроизоляционного материала, происходит изменение массы отраженной волны, так, при давлении 100 кПа у бетона дальность действия ударной волны составляет 18,26 м, у гидроизоляционного материала – 7,26 м, что составляет 2,5 %.

Технические характеристики используемых в настоящее время подстилающих поверхностей свидетельствуют, что бетон является более водонепроницаемым материалом, чем грунт, в связи с низкой пористостью. Гидроизоляционная способность бетона снижается при разрушении материала в процессе эксплуатации, а также при аварийной ситуации. Исследование возможного улучшения гидроизоляционных характеристик бетона нерационально ввиду высокого радиуса действия отраженной ударной волны. Используемое грунтовое покрытие также не обеспечивает экологическую безопасность процесса хранения нефти в связи с плотностью.

Сравнительный анализ технических характеристик гидроизоляционных материалов, используемых на предприятиях нефтехранения, позволяет выделить геосинтетический материал «Канвалан» – продукт отечественной нефтехимической промышленности.

Таблица 3

#### Техническая характеристика геосинтетических материалов «Канвалан»

Наименование материала	Поверхностная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Разрывная нагрузка, кН/м	Удлинение при разрыве, %	Коэффициент фильтрации	Состав
«Канвалан»	6 000	12,7	110	Водонепроницаем	Полипропилен (100 %)
«Нетма-теплонит»	4 800	10,6	95	Водонепроницаем	Полиэтиленовая пленка (50 %), геотекстиль (50 %)

Стоимость геосинтетического материала «Канвалан» – 107 руб./м<sup>2</sup>.

Затраты на оборудование подстилающей поверхности резервуарного парка материалом «Канвалан» составят 55 035,54 руб., что и экономически целесообразно в сравнении с материалом «Нетма-Теплонит», стоимость которого составляет 129 руб./м<sup>2</sup>.

«Канвалан» – плоский геосинтетический материал, относящийся к группе геотекстильных материалов. Характеристики данного материала позволяют рекомендовать его для использования в качестве подстилающей поверхности в радиусе обвалования сооружений резервуарного парка. Материал, согласно техническим характеристикам, не допускает проникновения в почву воды и нефтепродуктов, не подвержен влиянию агрессивных химических веществ и углеводородов, устойчив к высоким температурам.

Использование данного материала позволяет предотвратить проникновение нефти в почвенный слой и загрязнение прилегающих территорий.

Дополнительным фактором, обеспечивающим преимущества применения гидроизоляционного материала, является его состав.

«Канвалан» относится к экологически безопасному виду пластика, отличается повышенной прочностью, обладает высокой температурой плавления, тепло- и морозостойкостью [13–16].

На основании вышеизложенного можно предположить, что использование материала «Канвалан» является наиболее целесообразным решением с точки зрения эколого-экономической эффективности.

## Заключение

Предприятия нефтегазовой отрасли являются важным элементом экономики страны. При всей значимости данного направления деятельности вопросы экологической безопасности остаются решенными не в полной мере. Возникает угроза загрязнения окружающей среды при аварийных разливах нефти.

Одним из перспективных направлений обеспечения экологической безопасности процессов эксплуатации нефтехранилищ является использование современных геосинтетических материалов, обладающих необходимыми техническими характеристиками.

### Список источников

1. Колосова Н.В., Федорова Н.П., Лаптиева А.В. Анализ и оценка воздействия на окружающую среду предприятий нефтяного комплекса // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2021. № 2. С. 30–36.
2. Сараева А.А. Аварийные разливы нефти и окружающая среда // Научные исследования как основа инновационного развития общества. 2019. № 1.
3. Плиско Н.Н. Безопасное хранение нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках // Естественные и технические науки. 2017. № 6. С. 10.
4. Аралов Е.С., Помогалов В.Н., Карташов Н.А. Анализ современных проблем обеспечения надежности объектов хранения углеводородного сырья // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2020. № 4. С. 6–11.
5. Коваль А.В. Анализ особенностей разлива нефти на стационарных объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Наука и молодежь: новые идеи и решения: материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей. Волгоград, 2021. С. 77–78.
6. Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору // Ростехнадзор. 2022. № 5 (122).
7. Киреев И.Р., Тукбаева Р.Б., Еникеева Т.М. Современные технологии обеспечения безопасности хранения нефтепродуктов // Современные тенденции развития науки и технологий: сб. науч. трудов по материалам XXV Междунар. науч.-практ. конф. 2017. № 6.
8. Оценка и прогнозирование надежности и уровня промышленной безопасности резервуаров хранения нефтепродуктов: монография / А.А. Климантов [и др.]. СПб.: Университетская книга, 2017. 176 с.
9. Дорош И.В., Нафикова Э.В. Снижение потерь нефти в резервуарных парках и меры по обеспечению безопасности при их эксплуатации // Проблемы обеспечения безопасности. 2020. № 13. С. 259–262.
10. Будыкина Т.А., Будыкина К.Ю. Современные способы и средства обеспечения безопасности при ликвидации аварийных разливов нефти в резервуарных парках // Прогрессивные технологии и процессы. 2019. № 17. С. 41–47.
11. ГОСТ Р 53324–2009. Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2009. 12 с.
12. Халилова Д.И., Елизарьева Е.Н. Экономическая эффективность методов ликвидации нефтяных загрязнений почвы // Форум молодых ученых. 2016. № 4.
13. Куликова А.Н., Иванова А.П. Геосинтетические материалы // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития. Оренбург, 2019. С. 25–28.
14. Strehlow R.A., Ricker R.E. The blast wave from a bursting sphere // Loss Prevention. 2016.
15. Held M., Jager E.H., Stolz D. TNT-equivalence for uncontrolled explosion of gas pressure vessels // Paper at Euro-Mech. 2018.
16. Igra O., Ben-Dor G. Dusty shock waves // Appl. Mech. Rev. 2021.

## References

1. Kolosova N.V., Fedorova N.P., Laptiev A.V. Analiz i ocenka vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu predpriyatij neftyanogo kompleksa // Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikacii. 2021. № 2. S. 30–36.
2. Saraeva A.A. Avarijnye razlivy nefi i okruzhayushchaya sreda // Naukoemkie issledovaniya kak osnova innovacionnogo razvitiya obshchestva. 2019. № 1.
3. Plisko N.N. Bezopasnoe hranenie nefi i nefteproduktov v rezervuarnykh parkah // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2017. № 6. S. 10.
4. Aralov E.S., Pomogalov V.N., Kartashov N.A. Analiz sovremennykh problem obespecheniya nadezhnosti ob"ektov hraneniya uglevodorodnogo syr'ya // Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikacii. 2020. № 4. S. 6–11.
5. Koval' A.V. Analiz osobennostej razliva nefi na stacionarnykh ob"ektakh hraneniya nefi i nefteproduktov // Nauka i molodezh': novye idei i resheniya: materialy XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodykh issledovatelej. Volgograd, 2021. S. 77–78.
6. Informacionnyj byulleten' Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru // Rostekhnadzor. 2022. № 5 (122).
7. Kireev I.R., Tukbaeva R.B., Enikeeva T.M. Sovremennye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti hraneniya nefteproduktov // Sovremennye tendencii razvitiya nauki i tekhnologii: sb. nauch. trudov po materialam XXV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2017. № 6.
8. Ocenka i prognozirovanie nadezhnosti i urovnya promyshlennoj bezopasnosti rezervuarov hraneniya nefteproduktov: monografiya / A.A. Klimantov [i dr.]. SPb.: Universitetskaya kniga, 2017. 176 s.
9. Dorosh I.V., Nafikova E.V. Snizhenie poter' nefi v rezervuarnykh parkah i mery po obespecheniyu bezopasnosti pri ih ekspluatatsii // Problemy obespecheniya bezopasnosti. 2020. № 13. S. 259–262.
10. Budykina T.A., Budykina K.Yu. Sovremennye sposoby i sredstva obespecheniya bezopasnosti pri likvidatsii avarijnykh razlivov nefi v rezervuarnykh parkah // Progressivnye tekhnologii i processy. 2019. № 17. S. 41–47.
11. GOST R 53324–2009. Ograzhdeniya rezervuarov. Trebovaniya pozharnoj bezopasnosti. M.: IPK Izd-vo standartov, 2009. 12 s.
12. Halilova D.I., Elizar'eva E.N. Ekonomicheskaya effektivnost' metodov likvidatsii neftyanykh zagryaznenij pochvy // Forum molodykh uchenykh. 2016. № 4.
13. Kulikova A.N., Ivanova A.P. Geosinteticheskie materialy // Molodezhnaya nauka v XXI veke: tradicii, innovacii, vektory razvitiya. Orenburg, 2019. S. 25–28.
14. Strehlow R.A., Ricker R.E. The blast wave from a bursting sphere // Loss Prevention. 2016.
15. Held M., Jager E.H., Stolz D. TNT-equivalence for uncontrolled explosion of gas pressure vessels // Paper at Euro-Mech. 2018.
16. Igra O., Ben-Dor G. Dusty shock waves // Appl. Mech. Rev. 2021.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 28.02.2023; одобрена после рецензирования: 07.04.2023;  
принята к публикации: 11.04.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 28.02.2023; approved after review: 07.04.2023;  
accepted for publication: 11.04.2023

*Информация об авторах:*

**Ударцева Ольга Владимировна**, профессор кафедры техносферной безопасности Тюменского индустриального университета (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38), доктор технических наук, доцент, e-mail: oblad@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2896-2300>

*Information about the authors:*

**Udartseva Olga V.**, professor of the department of technosphere security of Tyumen industrial university (625000, Tyumen, Volodarsky str., 38), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: oblad@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2896-2300>

Научная статья

УДК 502.3/7, 004.94

## **ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

**Габриэль Павел Олегович;**

✉ **Ивахнюк Григорий Константинович.**

**Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия.**

**Сай Анна Романовна.**

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

✉ **fireside@inbox.ru**

*Аннотация.* Целью работы является исследование возможностей и функций существующих систем мониторинга состояния полигонов твердых коммунальных отходов.

В данной статье рассмотрены существующие системы мониторинга состояния полигонов твердых коммунальных отходов, позволяющие определить наличие возгораний, сейсмической активности, повышение температуры в теле полигона и/или прогнозировать дальнейшее развитие ситуации при отклонении параметров от приемлемых для функционирования полигона значений.

Научная новизна исследования состоит в актуализации данных о системах мониторинга состояния полигонов твердых коммунальных отходов с учетом иностранных решений и выявлении вектора развития отечественных продуктов на рынке.

Посредством анализа систем мониторинга были выявлены и описаны их основные функции, принцип работы и отличительные черты. Исследование показало преимущественное наличие иностранных компонентов в большинстве рассмотренных систем мониторинга.

*Ключевые слова:* система мониторинга, полигон твердых коммунальных отходов, экологическая безопасность

**Для цитирования:** Габриэль П.О., Ивахнюк Г.К., Сай А.Р. Обзор существующих систем мониторинга состояния полигонов твердых коммунальных отходов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 214–224.

Scientific article

## **OVERVIEW OF EXISTING SYSTEMS FOR MONITORING THE STATE OF MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS**

**Gabriel Pavel O.;**

✉ **Ivakhnyuk Grigory K.**

**Saint-Petersburg state technological institute (technical university), Saint-Petersburg, Russia.**

**Say Anna R.**

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

✉ **fireside@inbox.ru**

*Abstract.* The aim of the work is to study the capabilities and functions of existing systems for monitoring the state of municipal solid waste landfills.

This article discusses the existing systems for monitoring the state of municipal solid waste landfills, which make it possible to determine the presence of fires, seismic activity, an increase

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

in temperature in the body of the landfill, and/or predict the further development of the situation if the parameters deviate from values acceptable for the functioning of the landfill.

The scientific novelty of the study lies in the actualization of approaches to monitoring the state of municipal solid waste landfills, taking into account foreign solutions and identifying the vector for the development of domestic products on the market.

Through the analysis of monitoring systems, their main functions, principle of operation and distinctive features were identified and described. The study shows the predominant presence of foreign components in most of the monitoring systems considered.

*Keywords:* monitoring system, municipal solid waste landfill, environmental safety

**For citation:** Gabriel P.O., Ivakhnyuk G.K., Say A.R. Overview of existing systems for monitoring the state of municipal solid waste landfills // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 214–224.

## Введение

По данным Федеральной службы государственной статистики в 2005 г. в Российской Федерации зафиксировано образование порядка 3 000 млн т отходов, в 2015 г. – 5 060 млн т. За 10 лет показатель вырос на 69 %. В 2020 г., по официальной информации Росприроднадзора, доля отходов, направленных на захоронение, составляет 74,7 % [1]. Согласно Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 г. одна из основных причин отставания Российской Федерации в реализации процессов обработки и дальнейшей утилизации отходов – отсутствие организованной эффективной системы раздельного сбора отходов [2]. Все это применимо, в том числе, к твердым коммунальным отходам (ТКО), попадающим на полигоны ТКО.

Хранение ТКО на полигонах является одним из наиболее распространенных методов утилизации отходов во многих развитых и развивающихся странах. Основная доля ТКО состоит из пищевых отходов, составляющих 40–85 % от общего количества (в пересчете на сырую массу). Большая проблема в таком хранении мусора состоит в том, что внутри полигонов ТКО при окислении свалочных тел образуется свалочный газ [3]. Также в ходе таких реакций повышается температура отходов и возможность их самовозгорания с последующим выделением опасных и ядовитых соединений, опасных не только для здоровья человека, но также животных и растений [4–8].

Так, в 2011 г. произошел пожар на полигоне отходов на Волхонском шоссе в Ленинградской обл. В воздух попали такие ядовитые вещества, как диоксид азота и диоксин, которые могут привести к поражениям дыхательных путей [5, 6, 9]. В 2016 г. произошло возгорание на Грибовичской свалке под г. Львовом. Проведенная после тушения экспертиза показала, что причиной возникновения пожара стало самовозгорание из-за несоблюдения технологических норм. Три человека погибли при устранении очага возгорания [10]. Также 31 августа 2022 г. поступило сообщение о возгорании на полигоне ТКО в пос. Круглово Калининградской обл. на площади около 1 тыс. м<sup>2</sup>. Возгорание было полностью ликвидировано, пострадавших нет [11].

Для отслеживания и контроля размещенных отходов существуют специальные системы.

## Аналитическая часть

Один из существующих видов систем мониторинга состояния полигонов ТКО позволяет производить точный весовой контроль попадающего на полигон мусора, что позволяет более точно прогнозировать поведение отходов при построении математической

модели полигона. Все это дает большую вероятность предотвращения возникновения возгораний [12].

Такие системы позволяют регистрировать весь транспорт, выезжающий и въезжающий на территорию полигона через контрольно-пропускной пункт, а также автоматизировать учет поступающих отходов и вывоз вторичного сырья на автовесах.

В 2020 г. авторами статьи «Autonomous safety system for MSW landfills» была предложена концепция комплексной системы мониторинга (КСМ) состояния полигонов отходов для минимизации экологических рисков [13].

Основные задачи такой системы комплексного мониторинга полигона:

- своевременное обнаружение превышения критических уровней опасных паров метана ( $\text{CH}_4$ ), двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ), а также метанола, бензина, толуола и этанола;
- контроль внутренних деформаций полигона, таких как оползни и просадки;
- контроль радиационной обстановки на его территории;
- контроль состояния периметра полигона;
- возможность работы в автономном режиме и передача информации по беспроводной линии связи с центром сбора данных в соответствии с установленными правилами;
- построение динамической карты опасных происшествий в районе полигона.

В результате создается подробная база данных зарегистрированных событий. Блок-схема работы системы представлена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема работы КСМ [13]

Составляющие системы мониторинга:

1) подсистема газоанализаторов представляет собой распределенную сеть газоанализаторов различных типов, способных обнаружить концентрации опасных паров с заданной точностью. Устройство каждого датчика должно обеспечивать корректную работу датчика в тяжелых погодных условиях. Энергоснабжение датчиков поступает от автономного источника питания;

2) подсистема геофизических датчиков (сеть сейсмических датчиков). Инклинометрический комплекс почвенного контроля обеспечивает мониторинг состояния, позволяет оценить состояние фундамента зданий и сооружений на территории полигона ТКО. Комплекс обеспечивает автоматическую работу и беспроводную передачу данных. Энергоснабжение датчиков обеспечивается от батарей, топливных элементов или комбинированных электростанций;

3) подсистема мониторинга внешнего периметра предназначена для наблюдения за деятельностью на территории полигона;

4) подсистема передачи данных собирает информацию из датчиков разных типов. Передача данных осуществляется на основе беспроводных технологий (LoRaWAN). В соответствии с концепцией LoRaWAN каждый модем оснащен батареей, что гарантирует до восьми лет работы модема без подзарядки аккумулятора;

5) подсистема анализа и прогнозирования динамики состояния полигона. Эта подсистема предназначена для решения задачи краткосрочного прогноза состояния полигона на основе набора данных, собираемых с подсистем газоанализаторов и геотехнических датчиков, а также исходных данных о геофизической структуре полигона. На рис. 2 представлена общая схема подсистемы анализа и прогноза параметров полигона отходов.

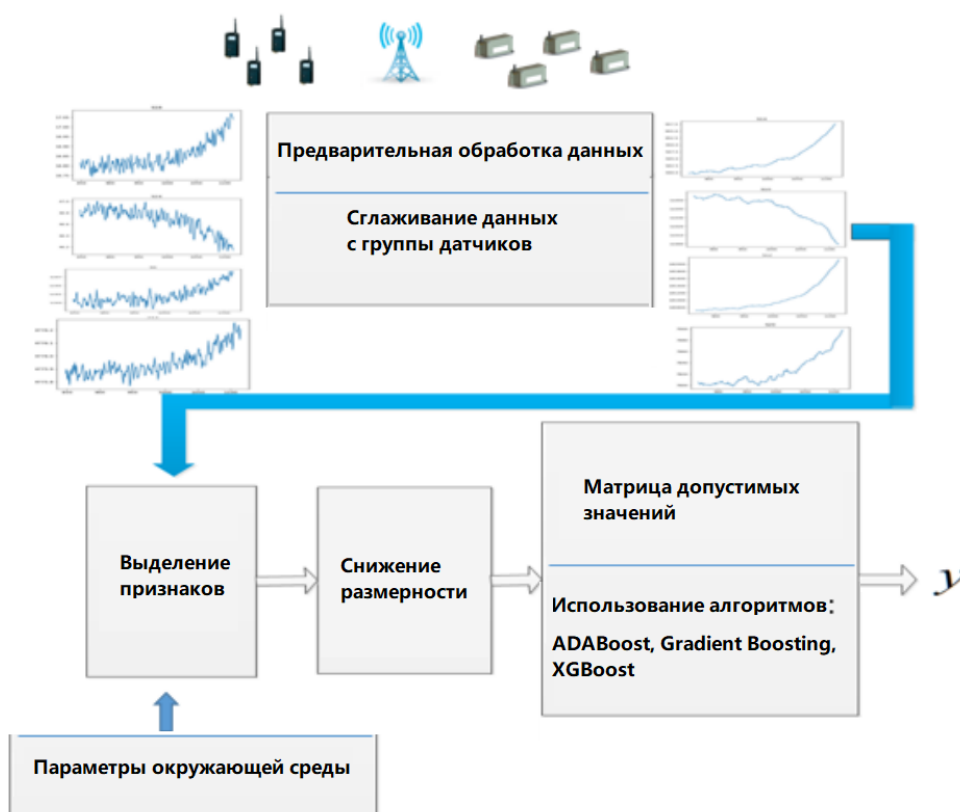


Рис. 2. Структурная схема подсистемы анализа и прогноза параметров полигона отходов [13]

На первом этапе работы подсистемы обрабатываются данные, полученные от всех датчиков в подсистемах, включая камеры видеонаблюдения (рис. 3). После этого происходит вычисление средних значений за период мониторинга (для каждого датчика свой временной интервал снятия показаний). Авторы предлагают использовать скользящее среднее для сглаживания числовых рядов и упрощения дальнейшего анализа данных. После этого происходит выделение признаков – процедура отбрасывания мало влияющих на общую динамику данных перед дальнейшим анализом на основе машинного обучения. Затем происходит сравнение обработанных чисел с заданными граничными значениями параметров и идентификацией закономерностей с помощью группы математических моделей и инструментов искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения.



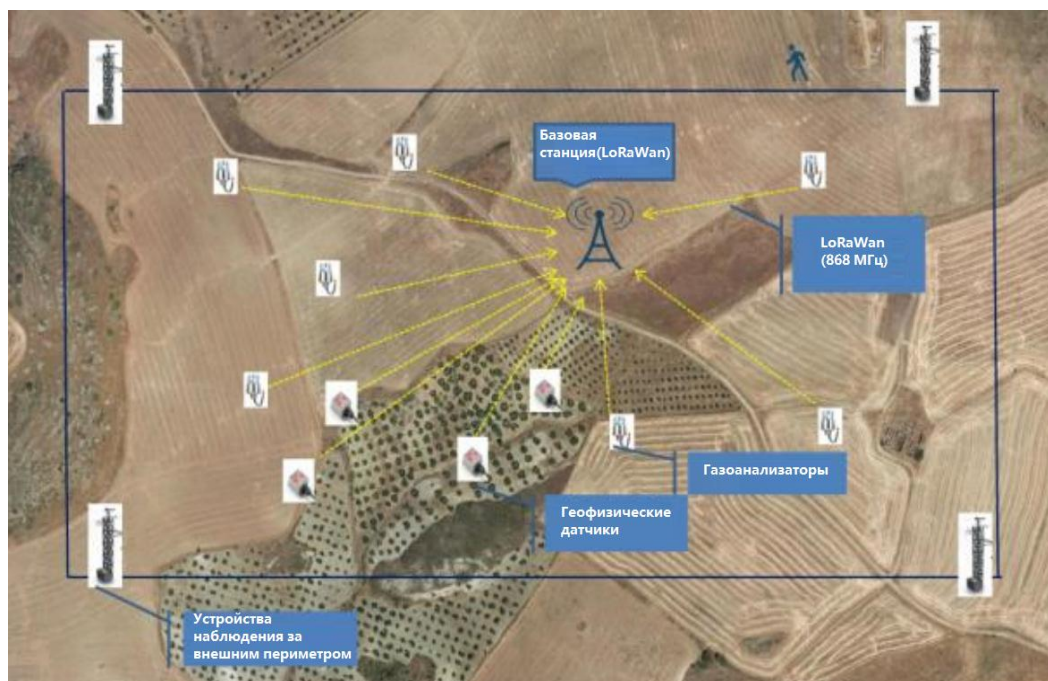


Рис. 3. Схема передачи информации с датчиков [13]

Такая система имеет ряд достоинств: быстрота реагирования на изменение погодных условий, контроль сейсмической ситуации, мониторинг внешней территории. Передача информации с датчиков по стандарту LoRaWan обеспечивает высокую энергетическую автономность системы по сравнению с другими стандартами передачи информации.

Среди недостатков можно отметить малый объем передачи информации по стандарту LoRaWan. Более того, на данный момент нет технологий, позволяющих передавать видеосигнал с помощью этой технологии. Мониторинг внешнего периметра, таким образом, должен осуществляться с помощью других стандартов передачи информации.

Для мониторинга состояния полигона существует портативная система непрерывного мониторинга выбросов полигонов LGR (Los Gatos Research) Landfill Continuous Emissions Monitoring System (LCEMS). Система состоит из газоанализатора и ПК с программным обеспечением, предназначенным для анализа результатов. Благодаря защищенному корпусу, на анализатор не влияют погодные условия, что обеспечивает непрерывный мониторинг выбросов на полигонах. Есть возможность использования функции удаленного доступа к прибору через Интернет, для того чтобы:

- скачивать данные;
- провести диагностику работы прибора;
- вносить оперативные изменения в любое время.

ПК (ОС Linux) с жестким диском на 40 ГБ является неотъемлемым компонентом системы. Данные могут быть отправлены в регистратор данных в режиме реального времени через цифровой (RS232), аналоговый выход или выход Ethernet. LCEMS может быть использован для мониторинга таких газов, как: метан ( $\text{CH}_4$ ), ацетилен ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ), диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) [14]. Продукт использует газоанализаторы сторонних производителей, количество анализируемых газов определяется заказчиком системы. Один из предлагаемых вариантов – полупроводниковый газоанализатор Sauer mann Si-CD3 с гибким зондом, измеряющий концентрации метана с точностью до 1 ppm или 0,001 об. д. % и погрешностью полной шкалы, составляющей 20 %. Диапазон измерений газоанализатора варьируется от 0 до 10 000 ppm или от 0 до 1 об. д. %.

Преимущества:

- 17 кг, 70 Вт;

- концентрации нескольких газов могут измеряться одновременно при подключении нескольких датчиков к системе;
- все полученные результаты всегда доступны для просмотра;
- подходит для исследования почвы, контроля соответствия требованиям по выбросам, обнаружения утечек;
- работает напрямую от источника тока.

Среди недостатков можно отметить низкую вариативность системы: кроме анализа и мониторинга концентрации указанных газов, нет возможности добавления других функций.

Другое решение на этапе размещения отходов на полигоне – интеллектуальная тепловизионная камера, которая позволяет контролировать территорию полигона даже при отсутствии людей [15]. Данную систему необходимо использовать в совокупности с другими методами мониторинга, поскольку она не несет в себе важных функций контроля и мониторинга, такую как, например, мониторинг температуры внутри тела полигона.

Система SCS RMC (Remote Monitoring and Control) использует интернет вещей (IoT). Это решение, обеспечивающее удаленный просмотр, анализ и управление оборудованием и системами, критически важными для производства и безопасной эксплуатации оборудования [16].

Получив предупреждение, авторизованные пользователи могут войти в веб-приложение SCS RMC, чтобы быстро определить значимость предупреждения и принять обоснованное решение, например, вызов специалиста для помощи в устранении неполадок.

Система SCS RMC может быть использована для мониторинга, контроля и анализа тенденций в режиме реального времени с устройств, с доступом в интернет, таких как смартфон, планшет или ноутбук.

Мониторинг полигонов может быть также осуществлен с помощью веб-сетей, дронов и дополненной реальности [17]. Помимо отображения данных и индикации состояния программное обеспечение также позволяет операторам полигона удаленно включать и выключать авторизованные в системе устройства, отменять сигналы тревоги и т.д. Модель полигона может быть дополнена 3D-изображениями, полученными с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Изображения и 3D-модель также могут быть просмотрены на гарнитуре дополненной реальности (AR), которая позволяет операторам использовать любое авторизованное мобильное устройство для удаленного просмотра всего объекта из любого места (изображение 3D-модели показано на рис. 6). Модель была создана с помощью изображений, полученных на квадрокоптере DJI Phantom 4 с дальностью полета до 5 км и возможностью снимать видео в разрешении 4096\*2160.



Рис. 6. 3D Модель, созданная при помощи квадрокоптера [17]

Достоинства включают в себя:

- возможность предоставлять доступ отдельно взятым лицам или группам к данным в системе;
- настраиваемая периодичность сбора данных, входящих в систему устройств;
- возможность создания информационной 3D-модели.

Недостатками можно считать: отсутствие некоторых функций, таких как анализ и мониторинг концентрации газов; сложность взаимодействия между различными компонентами системы. В системе также нет функции прогнозирования состояния тела полигона. Для получения информации удаленно требуется наличие выхода системы в интернет.

На Российском рынке присутствует решение (ООО «Авиационные роботы») для создания цифровых ортофотопланов для таких объектов, как полигоны ТКО [18]. Используются материалы фотографической съемки при помощи БПЛА с применением камеры высокой четкости в качестве полезной нагрузки, что позволяет детально изучить поверхность полигона и любого инженерного сооружения на прилегающих территориях [19, 20]. Изображение модели, созданной на базе снимков с БПЛА, представлено на рис. 7. Такая система является вспомогательной и должна быть использована совместно с основной системой мониторинга состояния полигона ТКО. В качестве БПЛА используется комплекс LA500 RTK (Франция). Такой аппарат может преодолевать до 25 км без подзарядки, в качестве полезной нагрузки используется фотоаппарат Sony a6000 (разрешение видеосъемки до 1080 p) и приемник GPS/GLONASS сигнала. Для построения моделей также может быть использован беспилотный комплекс Supercam S350 (Россия). Протяженность маршрута – до 360 км, разрешение видео составляет 720 p. У аппаратного комплекса есть возможность дополнительной установки тепловизора.

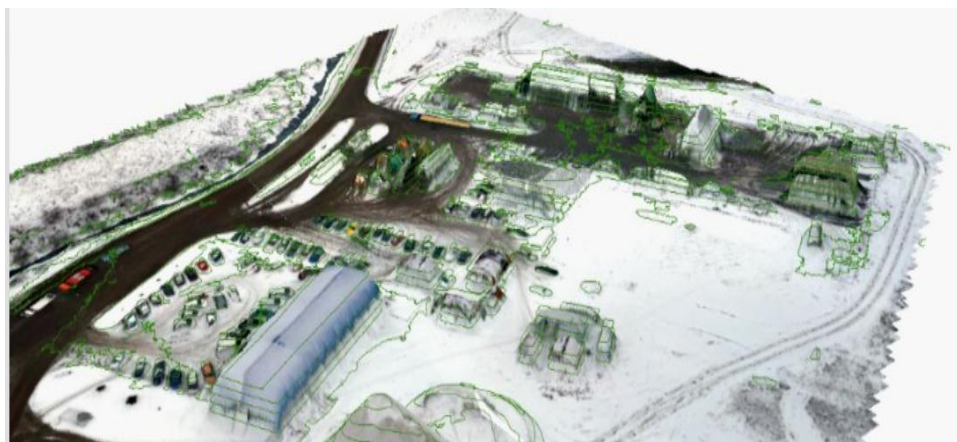


Рис. 7. 3D модель полигона, созданная с использованием БПЛА ООО «Авиационные роботы» [18]

SnifferDRONE представляет собой беспилотную авиационную систему (БАС), обеспечивающую работу по определению концентрации газов на промышленных объектах, в частности на полигонах ТКО. Метод определения газообразного метана для наземных применений называется «Мониторинг выбросов с поверхности» (SEM) [21–25]. SnifferDRONE оснащен детектором метана на борту БПЛА (мультикоптер). Шланг для сбора газа с утяжеленной насадкой для впуска воздуха подвешен к мультикоптеру для сбора проб газа над поверхностью земли во время полетов. Мультикоптер с газоанализатором изображен на рис. 8. Модель БПЛА не раскрывается.

К достоинствам системы можно отнести высокую автономность, отсутствие требований к наличию связи, возможность забора анализов из любого места над поверхностью полигона.

Среди недостатков выделяется зависимость системы от погодных условий.





Рис. 8. БПЛА SnifferDRONE, оснащенный детектором метана [23]

### Заключение

Результаты исследования показали, что вектор развития систем мониторинга полигона ТКО направлен на снижение участия человека в этом процессе и исключение человеческого фактора при получении данных о состоянии объекта. Ключевое решение о вмешательстве в работу объекта мониторинга тем не менее все равно остается за человеком.

Теоретическая значимость результатов исследования состоит в раскрытии потенциала развития технологий мониторинга для применения на объектах размещения отходов. Полученные результаты позволяют создать такую систему мониторинга, которая могла бы включать в себя все необходимые функции и характеристики для достаточного контроля состояния полигона ТКО.

### Список источников

1. Сведения об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления по форме 2-ТП (отходы) за 2021 год, систематизированные по федеральным округам и субъектам Российской Федерации // Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. URL: [https://rpn.gov.ru/upload/iblock/91c/sgrblqoore78zgrjsd37l0vjggpejibz/2TP-\\_otkhody\\_-\\_Razdel-1\\_-\\_Po-federalnym-okrugam-i-Subektam-RF.xlsx](https://rpn.gov.ru/upload/iblock/91c/sgrblqoore78zgrjsd37l0vjggpejibz/2TP-_otkhody_-_Razdel-1_-_Po-federalnym-okrugam-i-Subektam-RF.xlsx) (дата обращения: 01.09.2022).
2. Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 янв. 2018 г. № 84-р. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Войтенко О.В., Сай А.Р. Некоторые вопросы пожарной безопасности на полигонах твердых коммунальных отходов // XXIX Междунар. науч.-практ. конф. «Eurasia Science»: сб. статей. Ч. 1. М.: Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2020. С. 65–67.
4. Liang-Tong Zhan. Biochemical, hydrological and mechanical behaviors of high food waste content MSW landfill: Liquid-gas interactions observed from a large-scale experiment // Waste management. 2017. Vol. 68. P. 307–318.
5. Zhaowen Chenga, Zhongtao Sun. The identification and health risk assessment of odor emissions from waste landfilling and composting // Science of the total environment. 2019. Vol. 649. P. 1038–1044.
6. Paglietti F., Malinconico S. Classification and management of asbestos-containing waste: European legislation and the Italian experience // Waste management. 2016. Vol. 50. P. 130–150.

7. Jibran M., Zuberia S., Ali Shazia F. Greenhouse effect reduction by recovering energy from waste landfills in Pakistan // *Renewable and sustainable energy reviews*. 2015. Vol. 44. P. 117–131.
8. Сай А.Р. Влияние показателей пожароопасности отдельных морфологических компонентов смеси твердых коммунальных отходов на уточнение класса их опасности // *Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России»*. 2022. № 1. С. 195–203.
9. На выходных свалка на Волхонском шоссе полностью догорела // *Канонер*. URL: <http://kanoner.com/2011/11/14/29122/> (дата обращения: 08.09.2022).
10. Пожар на свалке под Львовом локализован 9 июня 2016 г. // *Интерфакс*. URL: <https://www.interfax.ru/world/512791/> (дата обращения: 08.09.2022).
11. В Калининградской области ликвидировали пожар на мусорном полигоне // *ТАСС*. URL: [https://tass.ru/proisshestiya/15616351?utm\\_source=fedpress.ru&utm\\_medium=referral&utm\\_campaign=fedpress.ru&utm\\_referrer=fedpress.ru](https://tass.ru/proisshestiya/15616351?utm_source=fedpress.ru&utm_medium=referral&utm_campaign=fedpress.ru&utm_referrer=fedpress.ru) (дата обращения: 08.09.2022).
12. Весовой учет для полигонов ТБО // *Малленом Системс*. URL: <https://www.mallenom.ru/resheniya/po-otrasliam/avtomarshalvesovaya-dlya-poligonov-tbo/> (дата обращения: 08.09.2022).
13. Autonomous safety system for MSW landfills / A. Titov [et al.] // *E3S Web of Conferences*. 2020. № 161 (53): 01043.
14. Landfill continuous emissions monitoring system (LCEMS) // *Los gatos research*. URL: <http://www.lgrinc.com/applications/landfill-emissions-monitoring.php> (дата обращения: 08.09.2022).
15. How to prevent landfill fires through early detection? // *Wastack*. URL: <https://www.wastack.com/post/how-to-prevent-landfill-fires-through-early-detection> (дата обращения: 08.09.2022).
16. Daniel H Cusworth. Using remote sensing to detect, validate, and quantify methane emissions from California solid waste operations // *Environmental research letters*. 2020. Vol. 15 (5). № 5.
17. Landfill monitoring with web-based networking, drones and AR // *Control*. URL: <https://www.controlglobal.com/articles/2020/landfill-monitoring-with-web-based-networking-drones-and-ar/> (дата обращения: 08.09.2022).
18. Беспилотник и полигоны ТБО // *ООО «Авиационные роботы»*. URL: <http://aviarobots.ru/service/bespilotnik-i-poligony-tbo/> (дата обращения: 08.09.2022).
19. Muleya M. Photogrammetry based analysis for the risks associated with landfilling in developing countries: case study Chunga landfill, Lusaka, Zambia: thesis submitted in (partial) fulfilment of the master of science degree. Auckland, New Zealand: Auckland university of technology, 2020. 124 p.
20. Unmanned aerial vehicles for operational monitoring of landfills / T. Filkin [et al.] // *Drones*. 2021. № 5 (4): 125.
21. De Wet A. Discovering and characterizing abandoned waste disposal sites using LIDAR and aerial imagery // *Environ. Eng. Geosci*. 2016. № 22. P. 113–130.
22. Analysis of landfills with historic airphotos / T. Erb [et al.] // *Photogramm. Eng. Remote Sens*. 1981. № 47. P. 1363–1369.
23. SnifferDRONE. The industry's best available technology for detecting land-based methane leaks and quantifying emissions // *SNIFFER ROBOTICS, LLC*. URL: <https://www.snifferrobotics.com/snifferdrone> (дата обращения: 08.09.2022).
24. Bolton N. Using drones for landfill mapping // *MSW Management*. 2020. URL: <https://www.mswmanagement.com/landfills/article/13028889/using-drones-for-landfill-mapping> (дата обращения: 08.09.2022).
25. Council uses drone to inform landfill management plan // *Waste management review*. 2016.

## References

1. Svedeniya ob obrazovanii, obrabotke, utilizacii, obezvrezhivanii, razmeshchenii othodov proizvodstva i potrebleniya po forme 2-TP (othody) za 2021 god, sistematizirovannye po federal'nym okrugam i sub'ektam Rossijskoj Federacii // Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere prirodnopol'zovaniya.  
URL: [https://rpn.gov.ru/upload/iblock/91c/sgrblqoore78zgrjsd37l0vjggpejibz/2TP-\\_otkhody\\_-\\_Razdel-1\\_-\\_Po-federalnym-okrugam-i-Subektam-RF.xlsx](https://rpn.gov.ru/upload/iblock/91c/sgrblqoore78zgrjsd37l0vjggpejibz/2TP-_otkhody_-_Razdel-1_-_Po-federalnym-okrugam-i-Subektam-RF.xlsx) (data obrashcheniya: 01.09.2022).
2. Ob utverzhdenii Strategii razvitiya promyshlennosti po obrabotke, utilizacii i obezvrezhivaniyu othodov proizvodstva i potrebleniya na period do 2030 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 25 yanv. 2018 g. № 84-r. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
3. Vojtenok O.V., Saj A.R. Nekotorye voprosy pozharnoj bezopasnosti na poligonah tverdyh kommunal'nyh othodov // XXIX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Eurasia Science»: sb. statej. Ch. 1. M.: Nauchno-izdatel'skij centr «Aktual'nost'.RF, 2020. S. 65–67.
4. Liang-Tong Zhan. Biochemical, hydrological and mechanical behaviors of high food waste content MSW landfill: Liquid-gas interactions observed from a large-scale experiment // Waste management. 2017. Vol. 68. P. 307–318.
5. Zhaowen Chenga, Zhongtao Sun. The identification and health risk assessment of odor emissions from waste landfilling and composting // Science of the total environment. 2019. Vol. 649. P. 1038–1044.
6. Paglietti F., Malinconico S. Classification and management of asbestos-containing waste: European legislation and the Italian experience // Waste management. 2016. Vol. 50. P. 130–150.
7. Jibran M., Zuberia S., Ali Shazia F. Greenhouse effect reduction by recovering energy from waste landfills in Pakistan // Renewable and sustainable energy reviews. 2015. Vol. 44. P. 117–131.
8. Saj A.R. Vliyanie pokazatelej pozharoopasnosti otdel'nyh morfologicheskikh komponentov smesi tverdyh kommunal'nyh othodov na utocnenie klassa ih opasnosti // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 1. S. 195–203.
9. Na vyhodnyh svalka na Volhonskom shosse polnost'yu dogorela // Kanoner. URL: <http://kanoner.com/2011/11/14/29122/> (data obrashcheniya: 08.09.2022).
10. Pozhar na svalke pod L'vovom lokalizovan 9 iyunya 2016 g. // Interfaks. URL: <https://www.interfax.ru/world/512791/> (data obrashcheniya: 08.09.2022).
11. V Kaliningradskoj oblasti likvidirovali pozhar na musornom poligone // TASS. URL: [https://tass.ru/proisshestviya/15616351?utm\\_source=fedpress.ru&utm\\_medium=referral&utm\\_campaign=fedpress.ru&utm\\_referrer=fedpress.ru](https://tass.ru/proisshestviya/15616351?utm_source=fedpress.ru&utm_medium=referral&utm_campaign=fedpress.ru&utm_referrer=fedpress.ru) (data obrashcheniya: 08.09.2022).
12. Vesovoj uchet dlya poligonov TBO // «Mallenom Sistems». URL: <https://www.mallenom.ru/resheniya/po-otrasliam/avtomarshalvesovaya-dlya-poligonov-tbo/> (data obrashcheniya: 08.09.2022).
13. Autonomous safety system for MSW landfills / A. Titov [et al.] // E3S Web of Conferences. 2020. № 161 (53): 01043.
14. Landfill continuous emissions monitoring system (LCEMS) // Los gatos research. URL: <http://www.lgrinc.com/applications/landfill-emissions-monitoring.php> (data obrashcheniya: 08.09.2022).
15. How to prevent landfill fires through early detection? // Wastack. URL: <https://www.wastack.com/post/how-to-prevent-landfill-fires-through-early-detection> (data obrashcheniya: 08.09.2022).
16. Daniel H Cusworth. Using remote sensing to detect, validate, and quantify methane emissions from California solid waste operations // Environmental research letters. 2020. Vol. 15 (5). № 5.
17. Landfill monitoring with web-based networking, drones and AR // Control. URL: <https://www.controlglobal.com/articles/2020/landfill-monitoring-with-web-based-networking-drones-and-ar/> (data obrashcheniya: 08.09.2022).

18. *Bespilotnik i poligony TBO // ООО «Aviacionnye roboty»*. URL: <http://aviarobots.ru/service/bespilotnik-i-poligony-tbo/> (data obrashcheniya: 08.09.2022).
19. Muleya M. Photogrammetry based analysis for the risks associated with landfilling in developing countries: case study Chunga landfill, Lusaka, Zambia: thesis submitted in (partial) fulfilment of the master of science degree. Auckland, New Zealand: Auckland university of technology, 2020. 124 p.
20. Unmanned aerial vehicles for operational monitoring of landfills / T. Filkin [et al.] // *Drones*. 2021. № 5 (4): 125.
21. De Wet A. Discovering and characterizing abandoned waste disposal sites using LIDAR and aerial imagery // *Environ. Eng. Geosci.* 2016. № 22. P. 113–130.
22. Analysis of landfills with historic airphotos / T. Erb [et al.] // *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 1981. № 47. P. 1363–1369.
23. SnifferDRONE. The industry's best available technology for detecting land-based methane leaks and quantifying emissions // *SNIFFER ROBOTICS, LLC*. URL: <https://www.snifferrobotics.com/snifferdrone> (data obrashcheniya: 08.09.2022).
24. Bolton N. Using drones for landfill mapping // *MSW Management*. 2020. URL: <https://www.mswmanagement.com/landfills/article/13028889/using-drones-for-landfill-mapping> (data obrashcheniya: 08.09.2022).
25. Council uses drone to inform landfill management plan // *Waste management review*. 2016.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 08.02.2023; одобрена после рецензирования: 24.04.2023; принята к публикации: 13.06.2023

#### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 08.02.2023; approved after review: 24.04.2023; accepted for publication: 13.06.2023

#### *Сведения об авторах:*

**Габриэль Павел Олегович**, аспирант кафедры инженерной защиты окружающей среды Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 24-26/49, лит. А), e-mail: [pavel-gabriel@mail.ru](mailto:pavel-gabriel@mail.ru)

**Ивахнюк Григорий Константинович**, заведующий кафедрой инженерной защиты окружающей среды Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 24-26/49, лит. А), доктор химических наук, профессор, e-mail: [fireside@inbox.ru](mailto:fireside@inbox.ru)

**Сай Анна Романовна**, преподаватель кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [a-novik@mail.ru](mailto:a-novik@mail.ru)

#### *Information about the authors:*

**Gabriel Pavel O.**, postgraduate student of the department of environmental engineering of the Saint-Petersburg state technological institute (technical university) (190013, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 24-26/49, lit. A), e-mail: [pavel-gabriel@mail.ru](mailto:pavel-gabriel@mail.ru)

**Ivakhnyuk Grigory K.**, head of the department of environmental engineering of the Saint-Petersburg state technological institute (technical university) (190013, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 24-26/49, lit. A), doctor of chemical sciences, professor, e-mail: [fireside@inbox.ru](mailto:fireside@inbox.ru)

**Say Anna R.**, lecturer 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: [a-novik@mail.ru](mailto:a-novik@mail.ru)

# ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА

---

Научная статья

УДК 343.2/.7

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ УГОЛОВНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА НАРУШЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА

✉Трапезникова Марина Михайловна;

Раджабова Фирангиз Фахраддин кызы.

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

✉marina-tr@yandex.ru

*Аннотация.* Статья посвящена вопросам уголовной ответственности за нарушение требований охраны труда. Авторами исследуются проблемы квалификации специального субъекта преступления, предусмотренного ст. 143 Уголовного кодекса Российской Федерации. Сформулирован вывод о том, что разработанные судебной практикой признаки субъекта данного преступления должны получить отражение непосредственно в диспозиции ч. 1 ст. 143 Уголовного кодекса Российской Федерации, что, по мнению авторов, позволит более четко определить круг лиц, подлежащих уголовной ответственности за нарушение требований охраны труда.

*Ключевые слова:* уголовное законодательство, нарушение прав работников, уголовная ответственность, нарушение требований охраны труда

**Для цитирования:** Трапезникова М.М., Раджабова Ф.Ф. Некоторые аспекты уголовной ответственности за нарушение требований охраны труда // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 225–233.

Scientific article

## SOME ASPECTS OF CRIMINAL LIABILITY FOR VIOLATION OF LABOR PROTECTION REQUIREMENTS

✉Trapeznikova Marina M.;

Rajabova Firangiz F. kyzy.

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

✉marina-tr@yandex.ru

*Abstract.* The article is devoted to the issues of criminal liability for violation of labor protection requirements. The authors investigate the problems of qualification of a special subject of a crime under article 143 of the Criminal code of the Russian Federation. The conclusion is formulated that the signs of the subject of this crime developed by judicial practice should be reflected directly in the disposition of part 1 of article 143 of the Criminal code of the Russian Federation, which, according to the authors, will allow to more clearly define the circle of persons subject to criminal liability for violation of labor protection requirements.

*Keywords:* criminal legislation, violation of workers' rights, criminal liability, violation of labor protection requirements



**For citation:** Trapeznikova M.M., Rajabova F.F. Some aspects of criminal liability for violation of labor protection requirements // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 225–233.

При применении нормативных положений Уголовного кодекса Российской Федерации (УК РФ) [1] российский правоприменитель может столкнуться с различными нерешенными проблемами, связанными с толкованием специальных отраслевых норм, предъявляющих необходимые требования к производственной безопасности, исследованием механизма совершения преступления с соответствующим составом, определением его субъектного состава и некоторых других проблем, что негативно отражается на уголовно-правовой оценке таких преступлений.

Закрепленная в разделе X Трудового кодекса Российской Федерации (ТК РФ) [2] система оценки выявленных профессиональных рисков не урегулирована действующим российским трудовым законодательством на должном правовом уровне [3]. По мнению большинства профсоюзных организаций, Минтруду Российской Федерации следует в ближайшее время приступить к разработке особой методики с целью проведения специальной оценки возможных рисков возникновения производственного травматизма и создания единого федерального центра учета и анализа несчастных случаев в конкретной организации [4].

Заметим, что производственный травматизм является серьезной проблемой для российской нестабильной экономики. За последние годы многие эксперты констатируют положительную динамику, направленную на снижение его уровня как в целом, так и в сфере различных отраслей промышленности и производства. В свою очередь, последние статистические данные Росстата безусловно свидетельствуют о нестабильности ситуации в данной сфере общественных правоотношений, связанной с выявлением фактов производственного травматизма в организации [5].

Анализируемые правоотношения в 2022 г. претерпели существенные изменения и дополнения, которые, безусловно, еще будут происходить в 2023 г. и в последующие годы. Вышеуказанное обстоятельство свидетельствует о постоянном совершенствовании механизма реализации государственной политики в данной сфере общественных правоотношений [6]. Кроме того, введенный в 2022 г. мораторий на проверки Государственной инспекцией труда продлили и на текущий 2023 г. Законодательно также был закреплен особый правовой статус работодателей в сфере охраны труда; особый порядок, касающийся проведения учета микроповреждений в организации; новое Положение, направленное на регулирование порядка осуществления проверок со стороны работодателей и другие нормы [7]. Заметим, что ст. 218 ТК РФ на законодательном уровне установлена обязанность каждого работодателя осуществлять оценку профессиональных рисков на конкретных рабочих местах. В отдельных статьях ТК РФ содержатся нормы, относящиеся к специальной информации по оценке профессиональных рисков [8]. Сравнительно недавно вступили в силу рекомендации, устанавливающие методику оценки профессионального риска [9] по обнаружению различного рода опасностей [10] и некоторые другие аналогичные нормативно-правовые акты.

За последние годы в действующее трудовое законодательство были внесены существенные изменения и дополнения:

- 1) Определены специальные правила, связанные с установлением особенностей обучения по охране труда [11].
- 2) Утверждены нормативы, применяемые на законодательном уровне к деятельности аккредитационных организаций, осуществляющих охрану труда [12].
- 3) Установлены особые требования, предъявляемые на государственном уровне к организациям и индивидуальным предпринимателям, оказывающим услуги в области обеспечения требований охраны труда [13].
- 4) Утвержден новый порядок расследования несчастных случаев на производстве [14]. Кроме того, определен порядок учета и расследования профессиональных заболеваний [15].

Установлены специальные требования, относящиеся к противопожарному режиму на предприятии и др. [16]. По результатам проведенного анализа данных прокурорских проверок прокуратурой на протяжении всего 2021 г. было инициировано возбуждение 108 уголовных дел [17], а также приняты необходимые профилактические меры, направленные на непосредственное соблюдение законодательно установленных требований, связанных с обеспечением охраны труда в организации [18]. Все вышеуказанные авторами фактические обстоятельства имеют непосредственное правовое значение для установления необходимых квалифицирующих признаков объекта преступления, предусмотренного ст. 143 УК РФ [19].

Кравченко Р.М. акцентирует особое внимание на том, что в постановлении Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 29 ноября 2018 г. № 41 содержатся рекомендации по применению и квалификации составов преступлений, предусмотренных УК РФ. При этом указанный автор обращает внимание на особый производственный характер выполненных работ, во время которых произошло грубое нарушение соблюдения требований техники безопасности. В такой ситуации квалификация рассматриваемого преступления возможна исключительно по ст. 216 УК РФ [20]. При этом специалисты в сфере уголовного права приходят к общему мнению о том, что обязанность по производству работ возлагается исключительно на специальный субъект рассматриваемого состава преступления [21].

Во многих специальных научных работах, посвященных вопросам правового регулирования уголовной ответственности, на протяжении нескольких последних десятилетий обсуждается дискуссионная проблема, связанная с правильной квалификацией субъекта преступления, предусмотренного ст. 143 УК РФ [22]. Большинство ученых, исследующих проблемы уголовного права, анализируя особенности данной уголовно-правовой статьи, справедливо, на взгляд авторов, считают, что в законодательстве прежде всего были определены необходимые условия, в силу которых работника целесообразно относить к особой категории специального субъекта преступления, предусмотренного ст. 143 УК РФ. Следовательно, круг установленных субъектов, в отношении которых предусмотрен соответствующий вид уголовной ответственности, подлежит расширительному толкованию, что следует из содержания, анализируемого авторами постановления Пленума Верховного Суда Российской Федерации [23]. Из диспозиции ч. 1 ст. 143 УК РФ однозначно, на взгляд авторов, вытекает важный и закономерный вывод о том, что специальными субъектами данного преступления являются руководители организаций, их непосредственные заместители, главные специалисты организаций, руководители структурных подразделений, специалисты службы охраны труда и иные лица, которые несут аналогичные обязанности по обеспечению соблюдения требований охраны труда. Акцент также следует сделать на том, что уголовная ответственность по ст. 143 УК РФ предусматривается, в том числе и за бездействие со стороны руководителя [24].

Как представители организации, оказывающей услуги в области охраны труда, так и специалисты, привлекаемые самим работодателем по гражданско-правовому договору, в соответствии с ч. 3 ст. 217 Трудового кодекса Российской Федерации несут уголовную ответственность непосредственно на основании ст. 143 УК РФ. Наиболее эффективными правовыми средствами в такой ситуации, на взгляд авторов, являются установленные действующим законодательством судебные и правовые механизмы защиты прав и законных интересов граждан.

Проведенный авторами анализ материалов судебной практики однозначно говорит о единой позиции судов в отношении применения санкций к руководителям организаций по ст. 143 УК РФ. Так, например, при выполнении работ, связанных с монтажом трубопровода магистральной тепловой сети, работнику были причинены тяжкие телесные повреждения вследствие падения (он находился в состоянии алкогольного опьянения). Судом в ходе рассмотрения уголовного дела были установлены и подтверждены неопровержимые факты отсутствия проведения инструктажа руководителем и указания маршрута движения по территории организации [25].

Известно, что в качестве грубого нарушения трудовых обязанностей со стороны руководителя конкретной организации следует, в частности, рассматривать явное неисполнение возложенных на него заключенным трудовым договором обязанностей, которое могло однозначно повлечь причинение вреда здоровью работников либо причинение значительного имущественного ущерба организации [26]. Анализ материалов уголовных дел показывает, что, например, в 2020 г. было возбуждено уголовное дело по признакам преступления, предусмотренного ч. 1 ст. 143 УК РФ, совершенное лицом, которое несет обязанности по их соблюдению, если это повлекло по неосторожности причинение тяжкого вреда здоровью. Кроме того, со стороны потерпевшего по анализируемому уголовному делу было предъявлено в суд имущественное требование о возмещении утраченного заработка, а также расходов и о взыскании компенсации морального вреда. Из установленных судом конкретных обстоятельств уголовного дела следует, что вышеуказанный истец длительное время работал у ответчика. В результате падения был причинен существенный вред здоровью истца. По установленному в результате расследования несчастного случая на производстве факту работодателем был составлен специальный акт о несчастном случае [27].

Необходимо заметить, что при вынесении приговоров суда следует указывать конкретные фактические обстоятельства, связанные с нарушением предусмотренных законодательством требований охраны труда, вследствие которых была причинена травма или произошла гибель работников [28]. В юридической литературе специалистами в области юриспруденции по данному вопросу высказывались различные точки зрения. В этом смысле З.Б. Соктоев отмечает, что анализ содержания норм уголовного законодательства однозначно свидетельствует о том, что в отношении лиц, работающих на основании гражданско-правового договора, также возможно установление вины при совершении подобного рода преступлений. Уголовное дело при этом будет возбуждено только в том случае, если произошла фиксация определенных негативных правовых последствий, в том числе связанных с наличием установленного факта причинения вреда здоровью граждан [29]. Суду по делам, связанным с нарушением требований охраны труда, важно непосредственно устанавливать причины выявленного в результате проведенной проверки производственного травматизма, профессиональных заболеваний и принимать предусмотренные законом особые меры как по устранению, так и по выявлению явных недостатков при осуществлении работ и организации безопасных условий труда на производстве [30].

Таким образом, проведенный в данной статье научный анализ уголовной ответственности за нарушение требований охраны труда свидетельствует о том, что в настоящее время окончательно не устранены все проблемные моменты в правовом регулировании правоотношений по охране труда. Очевидно, что существуют определенные несоответствия между законодательным восприятием субъектного состава расстраиваемого преступления и тем, что под ним представлено в постановлении Пленума Верховного Суда Российской Федерации. Предполагается, что разработанные существующей на данный период времени судебной практикой необходимые квалифицирующие признаки субъекта преступления должны найти непосредственное отражение в диспозиции ч. 1 ст. 143 УК РФ, что, на взгляд авторов, безусловно, позволит конкретизировать круг лиц, подлежащих уголовной ответственности. В этой связи с учетом имеющегося мнения о том, что и рядового работника можно считать субъектом данного преступления, представляется уместным отразить в действующем уголовном законодательстве квалифицированный состав преступления за нарушение требований охраны труда, предусматривающий повышенную степень уголовной ответственности именно для лиц, занимающих руководящие должности.

#### **Список источников**

1. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13 июня 1996 г. № 63-ФЗ (в ред. от 29 дек. 2022 г., с изм. от 15 марта 2023 г.) // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1996. № 25. Ст. 2954.

2. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 дек. 2001 г. № 197-ФЗ (в ред. от 19 дек. 2022 г.) (с изм. и доп., вступ. в силу с 1 марта 2023 г.) // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2002. № 1 (Ч. 1). Ст. 3.

3. О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации: Федер. закон от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ (в ред. от 5 дек. 2022 г.) (с изм. и доп., вступ. в силу с 11 янв. 2023 г.) // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2020. № 31 (Ч. I). Ст. 5007.

4. Обзор для специалиста по охране труда за период с 16 мая 2022 г. по 15 июня 2022 г. Профсоюзы обеспокоены положением дел в охране труда // Правовая защита. URL: <https://otrude.ru/baza-znaniy/novosti/obzor-dlya-speczialista-po-oxrane-truda-za-period-s-16.05.2022g.-po-15.06.2022g.html> (дата обращения: 02.04.2023).

5. Условия труда. Производственный травматизм. Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве, тыс. человек // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistic> (дата обращения: 02.04.2023).

6. Об утверждении Положения об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях, форм документов, соответствующих классификаторов, необходимых для расследования несчастных случаев на производстве: приказ Минтруда России от 20 апр. 2022 г. № 223 н (зарегистр. в Минюсте России 1 июня 2022 г. № 68673). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

7. О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации: Федер. закон от 2 июля 2021 г. № 311-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2021. № 27 (Ч. I). Ст. 5139.

8. Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда: приказ Минтруда России от 29 окт. 2021 г. № 776н (зарегистр. в Минюсте России 14 дек. 2021 г. № 66318) // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 03.04.2023).

9. Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по химической переработке нефти и газа»: приказ Минтруда России от 21 нояб. 2014 г. № 926н (в ред. от 12 дек. 2016 г.) (зарег. в Минюсте России 19 дек. 2014 г. № 35271) // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2015. № 28.

10. Об утверждении Рекомендаций по классификации, обнаружению, распознаванию и описанию опасностей: приказ Минтруда России от 31 янв. 2022 г. № 36. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

11. О порядке обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда (вместе с «Правилами обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда»): постановление Правительства Рос. Федерации от 24 дек. 2021 г. № 2464 // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2022. № 1 (Ч. II). Ст. 171.

12. Об утверждении Правил аккредитации организаций, индивидуальных предпринимателей, оказывающих услуги в области охраны труда, и требований к организациям и индивидуальным предпринимателям, оказывающим услуги в области охраны труда: постановление Правительства Рос. Федерации от 16 дек. 2021 г. № 2334 // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2021. № 52 (Ч. I). Ст. 9170.

13. Об утверждении требований к организациям и индивидуальным предпринимателям, оказывающим услуги в области охраны труда, и Правил аккредитации организаций, индивидуальных предпринимателей, оказывающих услуги в области охраны труда (по состоянию на 27 авг. 2021 г.) (подготовлен Минтрудом России, ID проекта 02/07/08-21/00118812): проект постановления Правительства Рос. Федерации (дораб. текст) (постановление подписано 16 дек. 2021 г. № 2334). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

14. Об утверждении Положения об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях, форм документов, соответствующих классификаторов, необходимых для расследования несчастных случаев на производстве:

- приказ Минтруда России от 20 апр. 2022 г. № 223н (зарег. в Минюсте России 1 июня 2022 г. № 68673). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
15. О порядке расследования и учета случаев профессиональных заболеваний работников (вместе с «Правилами расследования и учета случаев профессиональных заболеваний работников»): постановление Правительства Рос. Федерации от 5 июля 2022 г. № 1206 // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2022. № 28. Ст. 5121.
16. О внесении изменений в Правила противопожарного режима в Российской Федерации: постановление Правительства Рос. Федерации от 24 окт. 2022 г. № 1885 // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2022. № 44. Ст. 7567.
17. Энциклопедия решений. Ответственность за непроведение работодателем инструктажей по охране труда (декабрь 2022 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
18. Генеральный прокурор Российской Федерации поручил проверить охрану труда // Охрана труда в России. URL: <https://ohranatruda.ru/news/899/590082/> (дата обращения: 19.02.2023).
19. Хилтунов Н.Н. Уголовно-правовой запрет на нарушение требований охраны труда // Законность. 2019. № 12. С. 48–51.
20. Кравченко Р.М. Уголовно-правовая охрана безопасности работ и услуг: монография. М.: Юстицинформ, 2020. 228 с.
21. Ишигеев В.С., Гармышев Я.В., Пузикова А.В. Уголовная ответственность за неосторожные преступления, посягающие на общественную безопасность при проведении строительных или иных работ // Вестник Сибирского юридического института МВД России. 2022. № 1. С. 49–55.
22. Соктоев З.Б. О судебной практике по уголовным делам о нарушениях требований охраны труда, правил безопасности при ведении строительных или иных работ либо требований промышленной безопасности опасных производственных объектов: постановление Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 29 ноября 2018 г. № 41 // Бюллетень трудового и социального законодательства Российской Федерации. 2018. № 12.
23. Нарушение требований охраны труда: о новом Постановлении Пленума // Уголовное право. 2019. № 1. С. 4.
24. Комментарий к Уголовному кодексу Российской Федерации (постатейный; 8-е изд., перераб. и доп.) / К.А. Барышева [и др.]; под ред. Г.А. Есакова. М.: Изд-во Проспект, 2019.
25. Об отказе в передаче кассационной жалобы о пересмотре судебных актов по ст. 143 УК РФ (нарушение требований охраны труда) для рассмотрения в судебном заседании суда кассационной инстанции: постановление Московского городского суда от 1 февр. 2018 г. № 4у-0546/2018. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
26. О применении судами Российской Федерации Трудового кодекса Российской Федерации: постановление Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 17 марта 2004 г. № 2 (в ред. от 24 нояб. 2015 г.) // Бюллетень Верховного Суда Российской Федерации. 2004. № 6.
27. Определение СК по гражданским делам Первого кассационного суда общей юрисдикции от 18 октября 2022 г. по делу № 8Г-23816/2022[88-24336/2022]. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
28. Верховный суд разъяснил, когда специалиста по охране труда могут привлечь к уголовной ответственности // Центр подготовки, переподготовки и повышения квалификации «Кубанский». URL: <https://kubacentr.ru/novosti/340-verkhovnyj-sud-raz-yasnil-kogda-spetsialista-po-okhrane-truda-mogut-privlech-k-ugolovnoj-otvetstvennosti.html> (дата обращения: 03.04.2023).
29. Зорина Е.А., Медведева А.А., Трапезникова М.М. К вопросу об уголовно-правовой ответственности за нарушения требований охраны труда // Вестник Санкт-Петербургской юридической академии. 2021. № 3 (52). С. 93–99.
30. Кассационное определение Второго кассационного суда общей юрисдикции от 08 июля 2021 № 77-1796/2021. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».

## References

1. Ugolovnyj kodeks Rossijskoj Federacii ot 13 iyunya 1996 g. № 63-FZ (v red. ot 29 dek. 2022 g., s izm. ot 15 marta 2023 g.) // *Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii*. 1996. № 25. St. 2954.
2. Trudovoj kodeks Rossijskoj Federacii ot 30 dek. 2001 g. № 197-FZ (v red. ot 19 dek. 2022 g.) (s izm. i dop., vstup. v silu s 1 marta 2023 g.) // *Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii*. 2002. № 1 (Ch. I). St. 3.
3. O gosudarstvennom kontrole (nadzore) i municipal'nom kontrole v Rossijskoj Federacii: Feder. zakon ot 31 iyulya 2020 g. № 248-FZ (v red. ot 5 dek. 2022 g.) (s izm. i dop., vstup. v silu s 11 yanv. 2023 g.) // *Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii*. 2020. № 31 (Ch. I). St. 5007.
4. Obzor dlya specialista po ohrane truda za period s 16 maya 2022 g. po 15 iyunya 2022 g. Profsoyuzy obespokoeny polozheniem del v ohrane truda // *Pravovaya zashchita*. URL: <https://otrude.ru/baza-znaniy/novosti/obzor-dlya-specialista-po-oxrane-truda-za-period-s-16.05.2022g.-po-15.06.2022g.html> (data obrashcheniya: 02.04.2023).
5. Usloviya truda. Proizvodstvennyj travmatizm. Chislennost' postradavshih pri neschastnyh sluchayah na proizvodstve, tys. chelovek // *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki*. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistic> (data obrashcheniya: 02.04.2023).
6. Ob utverzhdenii Polozheniya ob osobennostyah rassledovaniya neschastnyh sluchaev na proizvodstve v otдел'nyh otraslyah i organizatsiyah, form dokumentov, sootvetstvuyushchih klassifikatorov, neobhodimyyh dlya rassledovaniya neschastnyh sluchaev na proizvodstve: prikaz Mintruda Rossii ot 20 apr. 2022 g. № 223 n (zaregistr. v Minyuste Rossii 1 iyunya 2022 g. № 68673). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
7. O vnesenii izmenenij v Trudovoj kodeks Rossijskoj Federacii: Feder. Zakon ot 2 iyulya 2021 g. № 311-FZ // *Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii*. 2021. № 27 (Ch. I). St. 5139.
8. Ob utverzhdenii Primernogo polozheniya o sisteme upravleniya ohranoj truda: prikaz Mintruda Rossii ot 29 okt. 2021 g. № 776n (zaregistr. v Minyuste Rossii 14 dek. 2021 g. № 66318) // *Oficial'nyj internet-portal pravovoj informacii*. URL: <http://pravo.gov.ru> (data obrashcheniya: 03.04.2023).
9. Ob utverzhdenii professional'nogo standarta «Specialist po himicheskoy pererabotke nefi i gaza»: prikaz Mintruda Rossii ot 21 noyab. 2014 g. № 926n (v red. ot 12 dek. 2016 g.) (zareg. v Minyuste Rossii 19 dek. 2014 g. № 35271) // *Byulleten' normativnyh aktov federal'nyh organov ispolnitel'noj vlasti*. 2015. № 28.
10. Ob utverzhdenii Rekomendacij po klassifikacii, obnaruzheniyu, raspoznavaniyu i opisaniyu opasnostej: prikaz Mintruda Rossii ot 31 yanv. 2022 g. № 36. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
11. O poryadke obucheniya po ohrane truda i proverki znaniya trebovanij ohrany truda (vmeste s «Pravilami obucheniya po ohrane truda i proverki znaniya trebovanij ohrany truda»): postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 24 dek. 2021 g. № 2464 // *Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii*. 2022. № 1 (Ch. II). St. 171.
12. Ob utverzhdenii Pravil akkreditacii organizacij, individual'nyh predprinimatelej, okazyvayushchih usluzhi v oblasti ohrany truda, i trebovanij k organizatsiyam i individual'nym predprinimatelyam, okazyvayushchim usluzhi v oblasti ohrany truda: postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 16 dek. 2021 g. № 2334 // *Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii*. 2021. № 52 (Ch. I). St. 9170.
13. Ob utverzhdenii trebovanij k organizatsiyam i individual'nym predprinimatelyam, okazyvayushchim usluzhi v oblasti ohrany truda, i Pravil akkreditacii organizacij, individual'nyh predprinimatelej, okazyvayushchih usluzhi v oblasti ohrany truda (po sostoyaniyu na 27 avg. 2021 g.) (podgotovlen Mintrudom Rossii, ID proekta 02/07/08-21/00118812): projekt postanovleniya Pravitel'stva Ros. Federacii (dorab. tekst) (postanovlenie podpisano 16 dek. 2021 g. № 2334). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
14. Ob utverzhdenii Polozheniya ob osobennostyah rassledovaniya neschastnyh sluchaev na proizvodstve v otдел'nyh otraslyah i organizatsiyah, form dokumentov, sootvetstvuyushchih klassifikatorov, neobhodimyyh dlya rassledovaniya neschastnyh sluchaev na proizvodstve: prikaz

Mintruda Rossii ot 20 apr. 2022 g. № 223n (zareg. v Minyuste Rossii 1 iyunya 2022 g. № 68673). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

15. O poryadke rassledovaniya i ucheta sluchaev professional'nyh zabolevanij rabotnikov (vmeste s «Pravilami rassledovaniya i ucheta sluchaev professional'nyh zabolevanij rabotnikov»): postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 5 iyulya 2022 g. № 1206 // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 2022. № 28. St. 5121.

16. O vnesenii izmenenij v Pravila protivopozharnogo rezhima v Rossijskoj Federacii: postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 24 okt. 2022 g. № 1885 // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 2022. № 44. St. 7567.

17. Enciklopediya reshenij. Otvetstvennost' za neprovedenie rabotodatelem instruktažej po ohrane truda (dekabr' 2022 g.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

18. General'nyj prokuror Rossijskoj Federacii poruchil proverit' ohranu truda // Ohrana truda v Rossii. URL: <https://ohranatruda.ru/news/899/590082/> (data obrashcheniya: 19.02.2023).

19. Hiltunov N.N. Ugolovno-pravovoj zapret na narushenie trebovanij ohrany truda // Zakonnost'. 2019. № 12. S. 48–51.

20. Kravchenko R.M. Ugolovno-pravovaya ohrana bezopasnosti rabot i uslug: monografiya. M.: Yusticininform, 2020. 228 s.

21. Ishigeev V.S., Garmyshev Ya.V., Puzikova A.V. Ugolovnaya otvetstvennost' za neostorozhnye prestupleniya, posyagayushchie na obshchestvennuyu bezopasnost' pri provedenii stroitel'nyh ili inyh rabot // Vestnik Sibirskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii. 2022. № 1. S. 49–55.

22. Soktoev Z.B. O sudebnoj praktike po ugolovnym delam o narusheniyah trebovanij ohrany truda, pravil bezopasnosti pri vedenii stroitel'nyh ili inyh rabot libo trebovanij promyshlennoj bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob'ektov: postanovlenie Plenuma Verhovnogo Suda Rossijskoj Federacii ot 29 noyabrya 2018 g. № 41 // Byulleten' trudovogo i social'nogo zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii. 2018. № 12.

23. Narushenie trebovanij ohrany truda: o novom Postanovlenii Plenuma // Ugolovnoe pravo. 2019. № 1. S. 4.

24. Kommentarij k Ugolovnomu kodeksu Rossijskoj Federacii (postatejnyj; 8-e izd., pererab. i dop.) / K.A. Barysheva [i dr.]; pod red. G.A. Esakova. M.: Izd-vo Prospekt, 2019.

25. Ob otkaze v peredache kassacionnoj zhaloby o peresmotre sudebnyh aktov po st. 143 UK RF (narushenie trebovanij ohrany truda) dlya rassmotreniya v sudebnom zasedanii suda kassacionnoj instancii: postanovlenie Moskovskogo gorodskogo suda ot 1 fevr. 2018 g. № 4u-0546/2018. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tant Plyus».

26. O primenenii sudami Rossijskoj Federacii Trudovogo kodeksa Rossijskoj Federacii: postanovlenie Plenuma Verhovnogo Suda Rossijskoj Federacii ot 17 marta 2004 g. № 2 (v red. ot 24 noyab. 2015 g.) // Byulleten' Verhovnogo Suda Rossijskoj Federacii. 2004. № 6.

27. Opredelenie SK po grazhdanskim delam Pervogo kassacionnogo suda obshchej yurisdikcii ot 18 oktyabrya 2022 g. po delu № 8G-23816/2022[88-24336/2022]. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tant Plyus».

28. Verhovnyj sud raz'yasnil, kogda specialista po ohrane truda mogut privlech' k ugolovnoj otvetstvennosti // Centr podgotovki, perepodgotovki i povysheniya kvalifikacii «Kubanskij». URL: <https://kubancentr.ru/novosti/340-verkhovnyj-sud-raz-yasnil-kogda-spetsialista-po-okhrane-truda-mogut-privlech-k-ugolovnoj-otvetstvennosti.html> (data obrashcheniya: 03.04.2023).

29. Zorina E.A., Medvedeva A.A., Trapeznikova M.M. K voprosu ob ugolovno-pravovoj otvetstvennosti za narusheniya trebovanij ohrany truda // Vestnik Sankt-Peterburgskoj yuridicheskoy akademii. 2021. № 3 (52). S. 93–99.

30. Kassacionnoe opredelenie Vtorogo kassacionnogo suda obshchej yurisdikcii ot 8 iyulya 2021 № 77-1796/2021. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tant Plyus».

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 20.04.2023; одобрена после рецензирования: 26.04.2023; принята к публикации: 28.04.2023.

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 20.04.2023; approved after review: 26.04.2023; accepted for publication: 28.04.2023.

*Информация об авторах:*

**Трапезникова Марина Михайловна**, доцент кафедры трудового права Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат юридических наук, e-mail: marina-tr@yandex.ru

**Раджабова Фирангиз Фахраддин кызы**, магистрант по направлению подготовки «Юриспруденция» Института безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: firangiz.rajabova@mail.ru

*Information about the authors:*

**Trapeznikova Marina M.**, associate professor of the department of labor law of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of law, e-mail: marina-tr@yandex.ru

**Radjabova Firangiz F. kyzy**, master's student in the field of law at the Institute of life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: firangiz.rajabova@mail.ru



---

# 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 текст 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 оползневого процесса: 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](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.***

**Вниманию 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

Научная статья

УДК 614.8

### МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОГО ПОЖАРА

Иванов Сергей Петрович✉.

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)

Scientific article

### METHOD FOR ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF FIRE PROTECTION OF STEEL STRUCTURES ON OBJECTS OF OIL AND GAS COMPLEX IN CONDITIONS OF OPEN FIRE

Ivanov Sergey P. ✉. 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 о статье:**

Статья поступила в редакцию: 10.01.2022; одобрена после рецензирования: 03.02.2022;  
принята к публикации: 11.02.2022

**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

*Информация об авторах:*

**Иванов Сергей Петрович**, 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:*

**Ivanov Sergey P.**, deputy head of the Research institute 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: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>

**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  
№ 2 (66)–2023**

**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 30.06.2023. Формат 60×84<sub>1/8</sub>.  
Усл.-печ. л. 30,00 Тираж 1000 экз. Зак. № 51**

---

**Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России  
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149**